



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE ENTORNOS  
VIARIOS BASADA EN RADAR LÁSER.**

INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIONES. ESP: SISTEMAS DE  
TELECOMUNICACIÓN

**AUTOR: IVÁN FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**

**TUTOR: FERNANDO GARCÍA FERNÁNDEZ**

**OCTUBRE 2009**





## Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mis padres, José Manuel y Pilar, a mi hermano Pablo y a mi abuela Donina. Y al resto de mi familia por preocuparse por mi y mis estudios. Y como no a mi novia Sara por su ayuda y apoyo.

Gracias a mi tutor Fernando García, por la posibilidad de haber realizado este proyecto tan interesante y por la ayuda recibida para su desarrollo.

También como no, agradecer a todos mis compañeros de clase, por todos los momentos que hemos pasado, ya que sin ellos la carrera hubiera sido menos llevadera y en especial a Manuel, Virginia, Manuel 2.0 y Miguel,





# Índice general

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>3</b>
<b>Índice general.....</b>	<b>5</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>13</b>
1.1    Objetivos .....	14
1.2    Fusión Sensorial .....	15
<b>Capítulo 2. Estado del arte .....</b>	<b>17</b>
2.1    Sistemas ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) .....	17
2.1.1    Sistema de detección de ángulo muerto.....	17
2.1.2    Asistente para cambios de carril .....	18
2.1.3    Visión Nocturna. ....	19
2.1.4    Sistema de aviso de cambio involuntario de carril (LDWS). ....	19
2.1.5    Control de crucero adaptativo (ACC). ....	20
2.1.6    Sistemas de control y alerta antisueño. ....	20
2.1.7    Sistema de detección de señales. ....	21
2.1.8    Detección de peatones mediante cámara de video .....	21
2.1.9    Asistente de cruces .....	21
2.2    Proyecto INTERSAFE, seguridad en intersecciones.....	22
2.2.1    Introducción .....	22
2.2.2    Vehículo de demostración.....	23
2.2.3    Localización de vehículo host .....	24
2.2.4    Detección, seguimiento y clasificación del objeto.....	24
2.2.5    Metodología de validación.....	25
2.2.6    Resultados de validación .....	26
2.2.7    Prueba de sensores .....	26
2.2.8    Rango de detección escáner láser.....	26
2.2.9    Precisión del láser al alcance de objetos.....	28
2.2.10    Precisión de localización .....	28
2.2.11    Prueba del sistema.....	29
2.3    Proyecto SASPENCE, fusión multinivel de radar e imagen. ....	30

2.3.1	Descripción de la arquitectura del sistema .....	30
<b>Capítulo 3. Descripción del Hardware del Equipo.....</b>		<b>33</b>
3.1	I-CAB.....	33
3.2	Telómetro láser .....	34
3.3	Adquisición y Procesado .....	38
3.4	Cámara Web.....	38
3.5	Alimentación.....	39
3.6	Visualización y E/S .....	39
<b>Capítulo 4. Descripción de la aplicación. ....</b>		<b>41</b>
4.1	Estructura del sistema .....	41
4.2	Corrección del movimiento del coche .....	41
4.3	Detección de obstáculos a bajo nivel.....	43
4.3.1	Obstáculo con forma de L .....	44
4.3.2	Borde de carreteras.....	45
4.3.3	Objeto Grande .....	45
4.3.4	Objeto Móvil.....	46
4.3.5	Posible Peatón.....	48
4.3.6	Peatones.....	48
4.3.7	Algoritmo de detección de patrón de peatón .....	52
4.3.8	Obtención de puntos y polylines totales del objeto .....	52
4.3.9	Obtención de la longitud total de las polylines.....	53
4.3.10	Obtención de los ángulos que forman las polylines. ....	53
4.3.11	Etiquetación del objeto como tipo peatón .....	54
4.4	Rangos de las variables para peatón.....	54
4.4.1	Para 4 puntos y 3 segmentos con peatón acercándose o alejándose del láser .....	54
4.4.2	Para 4 puntos y 3 segmentos con peatón caminando perpendicularmente al láser.....	55
4.4.3	Para 5 puntos y 4 segmentos.....	56
4.5	Obtención de las características de los objetos.....	57
4.5.1	Obtención de la máxima y mínima distancia al objeto en la componente Y .....	59
4.5.2	Obtención de la altura del objeto .....	59



4.5.3	Obtención de la máxima y mínima distancia al objeto en la componente X .....	59
4.5.4	Obtención de la anchura del objeto .....	59
4.5.5	Obtención del diámetro del objeto .....	59
4.5.6	Obtención de la distancia al centro del objeto .....	59
4.5.7	Identificación del tipo de objeto para su almacenamiento.....	60
4.6	Tracking de obstáculos a alto nivel .....	62
4.7	Tracking de objetos móviles .....	63
4.7.1	Iniciación de las variables .....	64
4.7.2	Comparación de objetos entre los dos frames .....	64
4.7.3	Análisis de la dirección y velocidad del objeto e inicialización de atributos para el seguimiento.....	67
4.7.4	Posibles sentidos en dirección Y .....	68
4.7.5	Posibles sentidos en dirección X .....	68
4.7.6	Casos en los cuales pueden darse errores de desplazamiento en X.....	69
4.7.7	Introducción del objeto en vector de objetos móviles para seguimiento. 70	
4.7.8	Búsqueda de objetos dentro de la estimación .....	70
4.7.9	Búsqueda dentro del vector de objetos de tipo móvil correspondiente al último frame que tenemos, un objeto que este dentro de la estimación realizada. ..	73
4.7.10	Sistema de evitación de falsos positivos en objetos que no tienen desplazamiento real. ....	75
4.7.11	Búsqueda en el vector de objetos totales del frame dentro de la estimación si no se ha conseguido encontrar ninguno en el vector de objeto móviles del frame. ....	75
4.7.12	Análisis de características del objeto y ejecución de acciones según valores. ....	76
4.8	Imágenes de secuencia de seguimiento de objeto móvil .....	77
4.9	Tracking de peatones .....	81
4.9.1	Inicialización de las variables.....	82
4.9.2	Comparación de objetos entre los dos frames. ....	82
4.9.3	Análisis de dirección y velocidad del objeto e inicialización de atributos para el seguimiento.....	85

4.9.4	Posibles sentidos en dirección Y .....	86
4.9.5	Posibles sentidos en dirección X .....	86
4.9.6	Casos en los cuales pueden darse errores de desplazamiento en X.....	86
4.9.7	Introducción del objeto en vector de objetos móviles para seguimiento.	86
4.9.8	Búsqueda de objetos dentro de la estimación .....	87
4.9.9	Búsqueda dentro del vector de objetos de tipo peatón correspondiente al último frame que tenemos, un objeto que este dentro de la estimación realizada. ...	88
4.9.10	Análisis de características del objeto y ejecución de acciones según valores. ....	91
4.10	Secuencia de imágenes de seguimiento de peatón .....	92
<b>Capítulo 5. Resultados.....</b>		<b>96</b>
5.1	Introducción.....	96
5.2	Pruebas con objetos móviles.....	96
5.3	Resultados de seguimiento con objetos móviles .....	97
5.4	Resultados de tracking para objetos móviles.....	99
5.5	Pruebas con peatones.....	101
5.6	Resultados de detección con peatones .....	103
5.7	Resultados de tracking con peatones .....	105
<b>Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros .....</b>		<b>109</b>
6.1	Conclusiones.....	109
6.2	Trabajos Futuros.....	109
<b>Capítulo 7. Presupuesto .....</b>		<b>111</b>
7.1	Coste de material.....	111
7.2	Costes de personal.....	111
7.3	Presupuesto total .....	112
<b>Bibliografía .....</b>		<b>113</b>



## Índice de Figuras

Figura 2-1 Sistemas ADAS. ....	17
Figura 2-2. Sistema de detección de ángulo muerto. ....	18
Figura 2-3. Sistema Driver Attention System de SiemensVDO. ....	21
Figura 2-4. Integración de sensores en el vehículo de demostración de INTERSAFE. ....	24
Figura 2-5. Descripción del sistema [5]. ....	25
Figura 2-6. Distribución de pruebas, "1" frontalmente, "2" 45°, "3" 90°. ....	27
Figura 2-7. Precisión de alcance del láser al objeto. ....	27
Figura 2-8. Error de localización frente a la distancia. ....	29
Figura 2-9. Precisión de distancia de localización. ....	29
Figura 2-10. Arquitectura del sistema SAPENCE. ....	31
Figura 2-11. Ejemplo de detección mediante el sistema SASPENCE. ....	32
Figura 3-1. Esquema del Hardware del equipo. ....	33
Figura 3-2. Imagen de ICAB en el campus de la Universidad Carlos III de Madrid ....	34
Figura 3-3. Láser SICK LMS 291-S05 ....	35
Figura 3-4. Comportamiento del láser para un escaneo simple de resolución 0,25°. ...	36
Figura 3-5. Estructura de soporte del telemetro láser. ....	37
Figura 3-6. Láser SICK LMS 291-S05 montado en el coche. ....	37
Figura 3-7 Webcam Logitech Quickcam Ultra Vision ....	38
Figura 3-8. Pantalla táctil de 7" models Xenarc TSV. ....	39
Figura 4-1. Corrección del movimiento del coche. Izquierda, patrón original, derecha, patrón corregido. ....	42
Figura 4-2. Pasos del algoritmo de creación de las polylines. (a) Separación del obstáculo. (b) Creación de las polylines. (c) Unión de las diferentes polylines en una sola. ....	44
Figura 4-3. En azul objetos detectados con forma de L. En este caso, un automóvil estacionado. (a) El entorno visualizado en una imagen. (b) la lectura del láser. ....	44
Figura 4-4. En rojo pared detectada como borde de carretera (a). Lectura del láser y visión de la cámara (b). ....	45
Figura 4-5. Patrón característico de un coche en movimiento. ....	46
Figura 4-6. Patrón en dientes de sierra. ....	46
Figura 4-7. Variación de las rotaciones ....	47
Figura 4-8. Diferentes patrones dados por el láser. (A) Coche en movimiento. (B) Coche aparcado. (C) Ciclista. (D) Edificio. (E) Arbustos. (F) Póster de luz. (G) Peatón. ....	48
Figura 4-9. El peatón tiene la pierna derecha más adelantada que su pierna izquierda. ....	49
Figura 4-10. El peatón está llevando la pierna izquierda a la altura de su pierna derecha. ....	49

Figura 4-11. El peatón tiene las dos piernas a la misma altura, el pie derecho esta apoyado en el suelo, y el izquierdo en el aire con movimiento hacia delante. ....	49
Figura 4-12. El peatón tiene la pierna izquierda por delante de la derecha, sin apoyar el pie derecho en el suelo. ....	49
Figura 4-13. El pie izquierdo esta apoyado en el suelo, el peatón ha completado un paso. ....	49
Figura 4-14. Imagen del peatón caminando, correspondiente a la figura 4-11, ya que tiene las dos piernas a la misma altura. ....	50
Figura 4-15. El segmento superior corresponde a la pierna izquierda y el segmento inferior corresponde a la pierna derecha. ....	50
Figura 4-16. La pierna izquierda permanece quieta, mientras el pie derecho está avanzando. ....	50
Figura 4-17. El peatón tiene las dos piernas casi juntas, por lo que no se diferencia la izquierda de la derecha. ....	50
Figura 4-18. El peatón tiene la pierna derecha en una posición mas avanzada que la pierna izquierda, ha completado un paso. ....	51
Figura 4-19. La pierna izquierda avanza para volver a empezar un paso. ....	51
Figura 4-20. Imagen del peatón caminando, correspondiente a la figura 4-18, ya que la pierna izquierda está en una posición retrasada con respecto a la derecha. ....	51
Figura 4-21. Representación del peatón acercándose al láser. ....	54
Figura 4-22. Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos. ....	54
Figura 4-23. Caso base del peatón acercándose al láser. ....	55
Figura 4-24. Polyline que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos. ....	55
Figura 4-25. Representación del peatón caminando perpendicularmente al láser. ....	55
Figura 4-26. Caso base. ....	56
Figura 4-27. Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos. ....	56
Figura 4-28. Ejemplo de las características de un objeto. ....	61
Figura 4-29. Representación de la toma de coordenadas. ....	61
Figura 4-30. Superposición de las dos imágenes. ....	64
Figura 4-31. Imagen del objeto móvil un frame después o último disponible. ....	64
Figura 4-32. Imagen del objeto móvil en el anterior frame. ....	64
Figura 4-33. Segmento correspondiente al objeto un frame después. ....	65
Figura 4-34. Segmento correspondiente al objeto del último frame. ....	65
Figura 4-35. Los dos segmentos superpuestos. ....	65
Figura 4-36. Área de comparación, en el que tiene que estar contenido el segmento del último objeto detectado. ....	66
Figura 4-37. Representaciones de errores de desplazamiento en X. ....	69
Figura 4-38. Representación de los segmentos de los objetos, la estimación y el área de estimación. ....	72
Figura 4-39. Representación del área de estimación con línea horizontal. ....	73
Figura 4-40. Segmentos de los objetos, área de estimación y objeto móvil. ....	74



Figura 4-41. Objeto de tipo móvil detectado dentro de la estimación, se recuadra con color azul celeste. ....	75
Figura 4-42. Objeto de tipo no móvil detectado dentro de la estimación, se recuadra con color verde. ....	76
Figura 4-43. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame1. ....	77
Figura 4-44. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 2. ....	77
Figura 4-45. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 3. ....	78
Figura 4-46. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 4. ....	78
Figura 4-47. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 5. ....	79
Figura 4-48. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 6. ....	79
Figura 4-49. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 7. ....	80
Figura 4-50. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 8. ....	80
Figura 4-51. Superposición de las dos imágenes del peatón. ....	82
Figura 4-52. Representación del peatón en el último frame. ....	82
Figura 4-53. Representación del peatón en el anterior frame. ....	82
Figura 4-54. Segmentos de los objetos con el margen de verificación. ....	83
Figura 4-55. Segmento del objeto anterior e imagen del peatón del último frame y margen de verificación. ....	83
Figura 4-56. Objeto móvil y objeto de tipo peatón dentro de la estimación. ....	84
Figura 4-57. Objeto móvil y objeto de tipo peatón dentro de la estimación un frame después de la figura 4-56. ....	85
Figura 4-58. Segmentos de objetos, estimación y área de estimación, con márgenes aplicados. ....	87
Figura 4-59. Segmentos del objeto, estimación, área de estimación y márgenes aplicados. ....	88
Figura 4-60. Segmentos del objeto, con el objeto un frame después dentro del área de estimación. ....	89
Figura 4-61. Objeto de tipo peatón detectado dentro de la estimación, se recuadra en verde amarillo. ....	90
Figura 4-62. Objeto de tipo no peatón detectado dentro de la estimación, se recuadra en color cian. ....	91
Figura 4-63. Imagen del peatón dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 1. ....	92
Figura 4-64. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 2. ....	92

Figura 4-65. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 3. ....	93
Figura 4-66. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 4. ....	93
Figura 4-67. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 5. ....	94
Figura 4-68. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 6. ....	94
Figura 4-69. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 7. ....	95
Figura 4-70. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 8. ....	95
Figura 5-1. Movimientos del banco de pruebas.....	96
Figura 5-2. Resultados de las detecciones para los diferentes test 1.....	97
Figura 5-3. Resultados de las detecciones para los diferentes test 2.....	98
Figura 5-4. Resultados generales de detecciones para objetos móviles.....	98
Figura 5-5. Gráfica de resultado de seguimientos para objetos móviles. ....	99
Figura 5-6. Gráfica de resultado de seguimientos para objetos móviles 2. ....	100
Figura 5-7. Distancias máximas de Tracking.....	100
Figura 5-8. Resultados generales de seguimiento para objetos móviles .....	101
Figura 5-9. Movimientos del banco de pruebas para peatones. ....	102
Figura 5-10. Gráfica de resultado de detecciones para peatones 1. ....	103
Figura 5-11. Gráfica de resultados de detecciones para peatones 2. ....	103
Figura 5-12. Resultados generales de detecciones para peatones.....	104
Figura 5-13. Gráfica de resultado de seguimientos para peatones. ....	105
Figura 5-14. Gráfica de resultado de seguimientos para peatones 2. ....	106
Figura 5-15. Resultados generales de seguimiento para peatones.....	106

## Capítulo 1. Introducción

Ante la demanda de una mayor seguridad en los automóviles y una reducción en el número de muertes por accidentes en carretera, donde en 2008 el número de víctimas ascendió hasta un total de 2.181 personas, de las cuales según el tipo de vehículo, 1.219 fallecidos estaban implicados con turismos, 306 con motocicletas, 245 con peatones, 71 con camiones y 61 con bicicletas. Estos datos nos pueden dar una visión de por qué actualmente siguen surgiendo una amplia gama de sistemas de ayuda a la conducción, independientes o cooperativos basados en las tecnologías de información y comunicación (TIC), denominados ADAS (Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción). Algunos de estos sistemas están ya en uso, como veremos en el capítulo del estado del arte y otros están aún en desarrollo o están siendo introducidos en el mercado, todos ellos destinados a obtener una menor siniestralidad y seguridad vial. Ante esta necesidad surge la detección y clasificación en entornos viarios.

En los inicios, las investigaciones se centraban en la seguridad pasiva, la cual se encarga de minimizar los posibles daños de los ocupantes del vehículo en el caso de que llegue a producirse un accidente. Estos resultados se tradujeron en el diseño de estructuras de deformación del vehículo para la mejor absorción de la energía en caso de impacto, la incorporación de los cinturones de seguridad a los automóviles en 1950, el mejor sistema de seguridad pasiva jamás inventado, o el airbag en 1971, dispositivos que necesitaban un menor uso de la electrónica, todavía poco desarrollada entre las décadas de los 50 y 70. A partir de la década de los 70 y gracias a la introducción de la electrónica, tanto analógica como digital y la informática, surgen una serie de sistemas más orientados a la seguridad activa, centrada en mecanismos o dispositivos destinados a disminuir el riesgo de que se produzca un accidente, como el A.B.S (Bosch 1970), evitando que se bloqueen las ruedas, modulando automáticamente la presión sobre los frenos cuando el conductor pisa el pedal a fondo y el ESP (Bosch 1995), control electrónico de estabilidad que detecta la desviación de la trayectoria del vehículo con respecto a la dirección que se desea llevar, el sistema frena ligeramente cada rueda por separado y así devuelve el vehículo a la trayectoria deseada.

Actuando conjuntamente estos sistemas contribuirían a reducir un 30% los accidentes relacionados con frenadas de emergencia y esquivación, en el caso de que todos los vehículos lo incorporarán de serie, según un estudio realizado por la revista 'Autopista' con la colaboración del grupo automovilístico Ford. Son tantos los beneficios de este sistema en la reducción de siniestros, que los vehículos de turismo e industriales ligeros, incorporarán como elemento de serie el ESP a partir de noviembre de 2011 para los estados de la Unión Europea. Este dato nos puede dar una idea de la importancia de los sistemas tecnológicos incorporados en los automóviles. Posteriormente a estos dos dispositivos, surgen multitud de sistemas ADAS que si bien no son tan efectivos en la reducción de víctimas como los presentados anteriormente, sirven de una gran ayuda al conductor para evitar accidentes.

Estos sistemas intentan de manera individual disminuir los tipos de accidentes mortales y no mortales más frecuentes, avisando al conductor o tomando medidas preventivas siendo, según las estadísticas de la DGT para el año 2008, la salida de la vía con 890 víctimas el más frecuente, seguido de la colisión frontal y fronto-lateral con 779 y atropellos a peatones con 202 fallecidos.

Esto significa que un sistema como el diseñado para el reconocimiento y clasificación de obstáculos, podría utilizarse para evitar los cuatro tipos de accidentes más frecuentes, al poder obtener un control sobre los objetos presentes en la vía, tales como guardarrailes, vehículos, peatones y otros objetos que puedan estar presentes y que puedan suponer un riesgo para el conductor, pudiendo obtener puntos de referencia para el cálculo de trayectorias óptimas.

### 1.1 Objetivos

El presente proyecto tiene como fin el diseño de un sistema de reconocimiento y clasificación de los objetos presentes en las carreteras, a partir de los datos proporcionados por un escáner láser, para su posterior procesamiento y ejecución de acciones tales como seguimiento y verificación. Esto servirá como base para diversas aplicaciones de seguridad, conducción autónoma, etc, que necesiten conocer la posición y futura situación de los objetos que le rodean, como peatones, automóviles, guardarrailes.

Los sistemas de fusión sensorial son una de las principales fuentes de investigación en la actualidad, en el campo de los sistemas inteligentes de transporte. La razón de su importancia está en la falta de sensores fiables que cumplan las elevadas exigencias de este tipo de sistemas. De esta forma, combinando varios sistemas, es posible acercarse a éstas.

Típicamente los sensores empleados son los telémetros láser (LIDARS) y sistemas de visión artificial en cualquiera de sus diferentes configuraciones. Las razones de elegir estos sistemas de sensores es que se complementan:

- El telémetro láser es capaz de medir las distancias a los objetos cercanos con una alta fiabilidad en las medidas, aunque la información que provee, como se ha comentado, es limitada.
- Los sistemas de visión artificial, son una fuente de información, aunque la elevada cantidad de datos que provee es el motivo de que su procesamiento sea más tedioso y complejo, y por lo tanto, su fiabilidad sea menor.

De esta forma, combinando ambos sistemas, es posible obtener un sistema sensorial que sea altamente fiable.

## 1.2 Fusión Sensorial

Los sistemas de ayuda a la conducción que emplean fusión sensorial se pueden dividir principalmente en tres tipos. Dependiendo del nivel de abstracción en el que se realiza la fusión sensorial.

- **Nivel bajo.** Consisten en la mezcla de varias fuentes de información sin procesar, para formar un nuevo conjunto de datos que provean una información más completa [1].
- **Nivel medio.** Consiste en extraer ciertas características de cada uno de los objetos encontrados mediante cada fuente de información por separado, como texturas, esquinas, líneas... Estas características son combinadas en fases superiores para dar una estimación de los tipos de objetos encontrados [2].
- **Nivel alto.** Consiste en que se realiza una detección diferente para cada uno de los sistemas de adquisición que se están empleando, para finalmente combinar los resultados tomando una decisión del objeto más probable [3].





## Capítulo 2. Estado del arte

### 2.1 Sistemas ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)

Las primeras generaciones de sistemas ADAS comenzaron a ser introducidas en el mercado desde hace relativamente muy pocos años, especialmente en vehículos de alta gama. Así, en el año 1998, Mercedes introdujo por primera vez en Europa el sistema ACC (Adaptive Cruise Control).

La figura 2-1 muestra algunos ejemplos de sistemas ADAS como son el ACC (Adaptive Cruise Control), el AFS (Adaptive Frontlighting System), LDW (Lane Departure Warning), LCA (Lane Change Assistant), TSR (Traffic Sign Recognition), Frenado de emergencia, Precrash y Sistema anticolidión entre otros.



Figura 2-1 Sistemas ADAS.

Son descritos a continuación algunos de los sistemas ADAS:

#### 2.1.1 Sistema de detección de ángulo muerto.

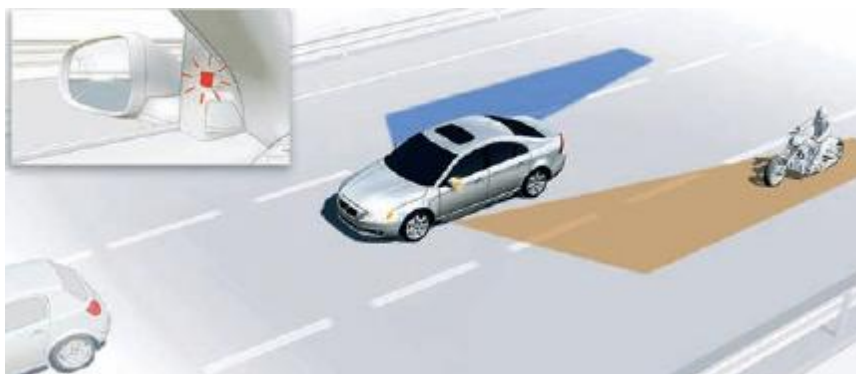
El sistema de detección de objetos en ángulo muerto tiene como objetivo alertar al conductor si hay otro vehículo en el ángulo muerto o cerca de él.

Para ello, consta de sensores que vigilan constantemente la zona lateral próxima al coche. Generalmente son sensores radar de corto o medio a 24 GHz, o bien sistemas de procesamiento de imágenes. Estos sensores proporcionan información a una centralita de control que, en caso necesario, emite un aviso acústico, visual o táctil (o una combinación de varios).

Existen sistemas que pueden alertar de forma continua de la existencia de vehículos en el ángulo muerto independientemente de las intenciones del conductor, mientras que otros únicamente actúan cuando se expresa la voluntad de efectuar un cambio de carril mediante el uso del intermitente.

Generalmente, actúan por encima de un umbral de velocidad determinado y son capaces de realizar un filtrado de vehículos estacionados o de aquellos que circulan en sentido contrario, con el objetivo de minimizar las falsas alarmas. La zona de detección es de unos 10 metros por detrás del espejo retrovisor y por unos 4 de anchura, suficiente para cubrir el ángulo muerto.

El primer vehículo en integrar el sistema de detección de objetos en ángulo muerto ha sido el Volvo XC90 (Otoño 2005), utilizando para ello un par de cámaras CMOS integradas en los espejos retrovisores exteriores.



**Figura 2-2. Sistema de detección de ángulo muerto.**

### 2.1.2 Asistente para cambios de carril

Es un sistema que amplía las posibilidades de funcionamiento del sistema de detección de objetos en ángulo muerto.

La distancia de detección aumenta hasta 50 ó 60 metros por detrás del vehículo y en los carriles adyacentes al mismo. Tiene en cuenta, además, la velocidad relativa del vehículo detectado en dicha zona con respecto al propio. De esta forma, se está en

disposición de alertar al conductor en caso de existir un cierto riesgo al efectuar la maniobra de cambio de carril debido a la aproximación de otro vehículo a gran velocidad. En función de diversos parámetros, se pueden establecer diversos niveles de alerta.

El Audi Q7 ha sido el pionero en la utilización de un sistema de asistencia al cambio de carril, mediante el uso de dos radares de medio alcance ubicados en las esquinas del paragolpes posterior.

### **2.1.3 Visión Nocturna.**

Con las luces de cruce normales, de noche la visibilidad para el conductor se reduce a unos 40 metros y la percepción de la profundidad y el color disminuye, lo que lleva a detectar los obstáculos y peligros demasiado tarde. Las luces largas deslumbran a los coches que vienen de frente, y por ello su utilidad es limitada. Un sistema de visión nocturna ofrece mejor visibilidad por la noche, gracias a unos sensores de infrarrojos próximos o lejanos cuyo alcance es equivalente al de las luces largas. El sistema no deslumbra al tráfico de frente, ya que los infrarrojos son invisibles para el ojo humano. La escena iluminada se muestra al conductor en una pantalla especial que ofrece una mejor visión de la carretera, incluidos otros vehículos y obstáculos distantes. Por consiguiente, el conductor puede detectar situaciones peligrosas con mayor antelación y reaccionar con mayor rapidez.

### **2.1.4 Sistema de aviso de cambio involuntario de carril (LDWS).**

Vigila la posición del vehículo dentro del carril y avisa al conductor si se sale o está a punto de salirse. Los LDWS comercializados actualmente son sistemas avanzados, basados en la visión, que usan algoritmos para interpretar imágenes de vídeo y calcular la posición del vehículo (posición lateral, velocidad lateral, rumbo, etc.) y la alineación de la calzada (anchura del carril, curvatura de la carretera, etc.). Otra variante del sistema utiliza sensores infrarrojos, ubicados en zonas que permitan ver las líneas de la carretera (por ejemplo debajo del parachoques anterior o en la parte inferior de los espejos retrovisores exteriores), emiten un pulso de radiación infrarroja de forma que el haz reflejado en el asfalto es detectada por la célula de recepción. La diferente reflectividad producida por las líneas de la carretera permite que sean fácilmente detectadas. El LDWS avisa al conductor del cambio de carril cuando el vehículo supera una determinada velocidad y no está activado el intermitente. Además, este sistema informa al conductor en caso de no poder detectar los carriles o mal funcionamiento del sistema.

### **2.1.5 Control de cruceo adaptativo (ACC).**

La tecnología de control de cruceo adaptativo (ACC) mejora la función de control de cruceo normal ajustando automáticamente la distancia y la velocidad en función de la marcha del vehículo que le precede. Esto se consigue con un detector de radar de gran alcance, un procesador de señales y un control longitudinal del vehículo. Si el vehículo que va delante reduce la velocidad o se detecta otro objeto, el ACC ajusta la velocidad del vehículo sin intervención del conductor. Cuando se haya despejado la carretera, el sistema volverá a acelerar el vehículo hasta la velocidad programada. Al igual que ocurre con el control de cruceo normal, el conductor puede desactivar el sistema cuando lo desee. Los actuales sistemas ACC son ante todo dispositivos de confort previstos para una gama de velocidades limitada.

Un ACC que funcione a cualquier velocidad resulta más seguro e incluso de manejo más cómodo. Si es preciso, el sistema desacelerará el vehículo hasta detenerlo completamente, empleando para ello toda su potencia de frenado, en lugar de desactivarse a una determinada velocidad, como ocurre en los sistemas actuales. El sistema también detecta si el coche de delante empieza a moverse de nuevo y avisa al conductor, generalmente por medio de una señal acústica. Entonces el vehículo acelera automáticamente hasta la velocidad programada, mantiene la distancia adecuada con el vehículo de delante y se adapta al ritmo del tráfico. Este sistema mejorado, se ofrece en la marca Volvo con un radar que alcanza los 150 metros y una cámara con un rango de visión de 55 metros. Trabaja combinando los datos de ambos para una mejor eficiencia. La cámara sirve para que el detector no dé falsas lecturas ante coches estacionados o circunstancias momentáneas de la circulación, detectando asimismo las luces de freno del vehículo que nos antecede. Estos sistemas también tiene sus limitaciones, sobre todo visuales, como humo, niebla, nieve... que pueden hacerlo inutilizable por momentos.

### **2.1.6 Sistemas de control y alerta antisueño.**

Pueden detectar la somnolencia del conductor de varias formas: atendiendo a la expresión facial y los movimientos de manos y pies o analizando el parpadeo y la posición de la cabeza, o incluso las alteraciones del ritmo cardiaco. Esta información – o la combinación de varios factores – se analiza constantemente y el conductor recibe una alerta en caso de somnolencia o distracción. Siemens VDO ha desarrollado el Driver Attention System, este sistema de alarma incorpora una cámara de infrarrojos instalada en el salpicadero y apenas perceptible para el conductor. Con su luz infrarroja invisible, la cámara examina la cara del conductor incluso durante la noche. Un software evalúa la grabación en tiempo real y, en función de los parámetros de dirección de la mirada y parpadeo (número y duración), determina si el conductor está alerta y atento como se puede apreciar en la figura 2-3.



Figura 2-3. Sistema Driver Attention System de SiemensVDO.

### 2.1.7 Sistema de detección de señales.

Sistema incorporado al modelo Opel insignia bajo el nombre, Traffic Sign Recognition, es el sistema que controla las señales de circulación a partir de una cámara situada entre el parabrisas y el espejo retrovisor interno. Simplemente analiza las imágenes y reconoce las señales hasta una longitud de 100 metros y las muestra en un display al conductor. Detecta diferentes tipos de señales pero dota de mayor prioridad a señales tan importantes como, por ejemplo, el fin de la zona de adelantamiento.

### 2.1.8 Detección de peatones mediante cámara de video

Este sistema está a punto de ser lanzado por diversas compañías automovilísticas. Puede estar integrado por visión estéreo o bien solo compuesto por una cámara, utiliza técnicas de procesamiento de imagen para la detección del peatón. Hay diferentes algoritmos en el mercado.

### 2.1.9 Asistente de cruces

Los accidentes en cruces se producen cuando los conductores realizan maniobras inadecuadas, no prevén las acciones de los demás conductores o no respetan las señales de tráfico. El asistente de cruces puede reducir el riesgo mediante dispositivos como los siguientes:

- Aviso de preferencia: El asistente en intersecciones se comunica con otros vehículos que están aproximándose a la intersección. El sistema evalúa los datos que llegan sobre la velocidad, la distancia a la intersección y las

direcciones de las trayectorias junto con los datos pertenecientes al vehículo en cuestión. Si se detecta un riesgo de colisión, el conductor es alertado con señales visuales o sonoras y una suave deceleración del vehículo. La gran ventaja es que incluso cuando un accidente resulta ser inevitable, el hecho de reducir la velocidad en una fase temprana mitigará sus consecuencias. Si el conductor no puede evitar la situación por sus propios medios, el asistente en intersecciones puede preparar el sistema de frenos y ayudar a la acción de frenado del conductor. Un ejemplo de este sistema se detalla en el punto 2.2 .

- Asistente para semáforos: el semáforo transmite la información al vehículo por vía inalámbrica. La aplicación de seguridad instalada en el vehículo indica la luz del semáforo y sugiere al conductor la velocidad que debe mantener para poder cruzarlo en verde.

## **2.2 Proyecto INTERSAFE, seguridad en intersecciones.**

### **2.2.1 Introducción**

El proyecto se inició el 1 de febrero de 2004 y terminó con éxito en febrero de 2008. Los socios de INTERSAFE son:

Fabricante de vehículos: BMW, VW, PSA, RENAULT

Distribuidor Automotor: TRW, IBEO

Instituto / PYME: INRIA, ika, FCS, Signalbau Huber

El principal objetivo del proyecto INTERSAFE es mejorar la seguridad y reducir (y en el largo plazo evitar), las colisiones mortales en las intersecciones. Con el fin de identificar los escenarios más relevantes para la prevención de accidentes, se llevó a cabo un informe detallado de accidentes. Basado en los escenarios y en los fallos del conductor obtenidos del análisis de accidentes, se describió la funcionalidad básica.

La importancia de estos accidentes lleva a profundizar en el análisis de los escenarios.

Un análisis en profundidad de datos disponibles, sobre reconstrucciones de accidentes en Francia y Alemania nos muestra en la posición principal dos tipos de accidentes:

- Las colisiones con tráfico que se aproxima, mientras se gira a la izquierda.
- Las colisiones con el tráfico que esta cruzando mientras se entra dentro o se cruza la intersección.



Realmente, alrededor del 60%-72% de todos los accidentes relacionados con el automóvil en intersecciones, están relacionados directamente con estos dos escenarios. La posibilidad de otros accidentes similares hace que se den necesidades nuevas en las investigaciones.

El proyecto INTERSAFE realiza dos enfoques en paralelo.

- El primero es un enfoque de abajo hacia arriba, sobre el estado del arte de los sensores y la infraestructura de comunicación del vehículo. Además, algunos módulos de comunicación están instalados en algunas intersecciones para realizar la comunicación bidireccional entre el vehículo y el semáforo.
- El segundo, es un enfoque de arriba hacia abajo, sobre la base de un simulador de conducción de BMW. El simulador de conducción permite el análisis de las situaciones peligrosas, independientemente de cualquier restricción de las capacidades de los sensores para la detección del entorno.

### **2.2.2 Vehículo de demostración**

El VW Phaeton, vehículo de prueba de INTERSAFE, está equipado con dos escáneres láser, una cámara de vídeo y un sistema de comunicación, como se muestra en la Figura 2-4. La cámara de vídeo se utiliza para procesar los datos sobre las marcas viales de la intersección, mientras que los láseres recogen datos de puntos de referencia naturales, así como los datos sobre los usuarios de la carretera.

La alta precisión de la localización de vehículos, se realiza por la fusión de los resultados de los sistemas de vídeo y láser, basado en un mapa detallado de la intersección (mapa de alto nivel).

En un segundo paso, se hace una evaluación dinámica de riesgos. Esta se basa en el seguimiento y clasificación de objetos, comunicación con la gestión del tráfico y de los propósitos del conductor. Como resultado de la dinámica de evaluación de riesgos, pueden ser identificados los posibles conflictos con otros usuarios de la carretera y la gestión de tráfico.

El escáner láser detecta y rastrea los usuarios de la carretera, lo cual es esencial para la funcionalidad del sistema. No obstante, el procesamiento de datos de vídeo y la fusión con los datos del escáner láser, es fundamental para el correcto funcionamiento del proceso de localización del vehículo anfitrión o host [4].



**Figura 2-4. Integración de sensores en el vehículo de demostración de INTERSAFE.**

En la primera sección de este documento, se describe la localización del vehículo host y la detección de objetos basada en el láser, también son descritos el seguimiento y clasificación. Esto sirve como el nivel de entrada para el escenario de interpretación y evaluación de riesgos el cual se describe en la segunda parte.

### **2.2.3 Localización de vehículo host**

Las localizaciones basadas en GPS no son en general capaces de proporcionar suficiente precisión y fiabilidad de localización, en zonas urbanas donde son típicas las intersecciones. El sistema de escáner láser obtiene una posición relativa dentro de la intersección detectando marcas viales como postes y otros objetos fijos similares próximos a la intersección, los cuales son registrados en un mapa digital.

### **2.2.4 Detección, seguimiento y clasificación del objeto**

A fin de satisfacer las necesidades funcionales de la monitorización de tráfico cruzado, dos precisos láseres, están integrados tanto en la esquina izquierda y derecha delantera del vehículo de prueba. Así pues, se consigue un área de barrido combinado de 220 grados alrededor del vehículo. A partir de los datos detectados por el láser, es llevado a cabo el seguimiento y clasificación de los usuarios de la carretera.

En un principio el perfil de alcance generado es agrupado en segmentos. Comparando los parámetros de un escaneo con parámetros predictivos de objetos conocidos de un escaneo previo, los objetos determinados son reconocidos. Los segmentos no



reconocidos son instanciados como objetos nuevos, inicializados con parámetros dinámicos por defecto.

Con el fin de estimar los parámetros del estado del objeto, es utilizado un filtro de Kalman.

La clasificación se basa en objetos perfilados (datos estáticos) por usuarios típicos de la vía, tales como automóviles, camiones, autobuses, árboles, motocicletas, bicicletas y peatones. Adicionalmente el historial de clasificación de objetos y la dinámica de seguimiento se utilizan para apoyar el funcionamiento de la clasificación.

### 2.2.5 Metodología de validación

La Figura 2-5 muestra un diagrama general del sistema de seguridad en intersecciones y el sistema de interfaces de conexión de cada nivel del sistema. Se muestran ejemplos de las señales transferidas. La figura simplifica la arquitectura y representa en que nivel de sistema se evalúan los test del funcionamiento del sistema

Empezando con la verificación técnica, son monitorizadas la salidas de los sensores del entorno (Láser y video) y del modulo de comunicación V2I (Vehicle to infrastructure) recibe información relevante sobre la seguridad de la vía o peligros, de componentes de infraestructura. Aquí los datos son comparados con los valores descritos en las especificaciones técnicas. En el interfaz 1 (nivel de percepción) son evaluadas la salida de la localización relativa de cada sistema de sensores, la detección, el seguimiento y la clasificación de los usuarios de la vía y la comunicación V2I.

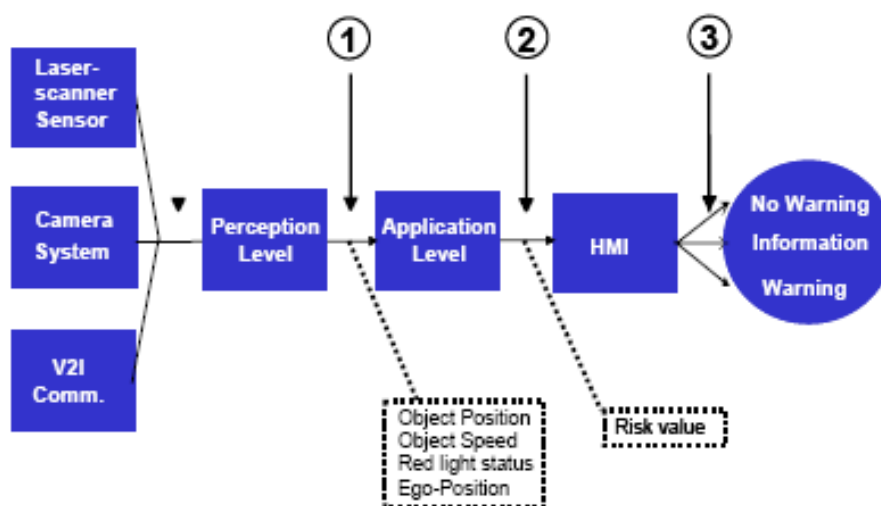


Figura 2-5. Descripción del sistema [5].

La segunda fase se ocupa de la verificación operacional. Aquí el sistema es inspeccionado en el interfaz 2 (nivel de aplicación). Además, la implementación de los componentes son evaluados con respecto a la especificación de funcionamiento.

Finalmente, los aspectos de usuario se abordan en la tercera parte del test, el test de usuario. El sistema es probado en el interfaz 3 y son realizados los test con los sujetos.

### **2.2.6 Resultados de validación**

Algunos de los principales resultados obtenidos en la validación de este proyecto se describen en las secciones siguientes [6].

### **2.2.7 Prueba de sensores**

En la primera fase de evaluación, los sensores fueron probados para comprobar la función del sistema INTERSAFE en el nivel de percepción. Con el fin de obtener un resultado representativo, se utilizaron diversos objetos, como objetivos del sensor en las pruebas.

Estos objetivos fueron los siguientes: VW Golf (coche de color plata), VW Lupo (coche de color negro compacto), BMW 325i (coche rojo de tamaño medio), BMW 728i (coche de color negro de gran tamaño), Honda VFR800 (motocicleta de color plateado), los peatones (con ropa oscura) y un maniquí de madera como objetivo para la prueba de exactitud de posición.

### **2.2.8 Rango de detección escáner láser**

En esta prueba fue determinado el rango máximo del escáner para los 5 vehículos de test y para el peatón. La prueba se inició con el vehículo objetivo moviéndose hacia la posición del vehículo de demostración.

Se aplicaron tres diferentes direcciones de acercamiento a los vehículos de prueba en este test: frontalmente, 45° y 90° (véase Figura 2-6). Con el fin de evitar coincidencias con respecto a la repetitividad, cada prueba se llevó a cabo dos veces por cada objetivo y para cada dirección de acercamiento.

El rango máximo de detección frontal y a 45°, son ilustrados en la Figura 2-7. En estas pruebas, el máximo rango de detección del láser fue de 200 metros.

Durante las pruebas, todos los vehículos fueron correctamente clasificados inmediatamente después de la detección. El rango máximo de detección de la motocicleta se hizo mas leve en las dos pruebas, debido a su sección menor.

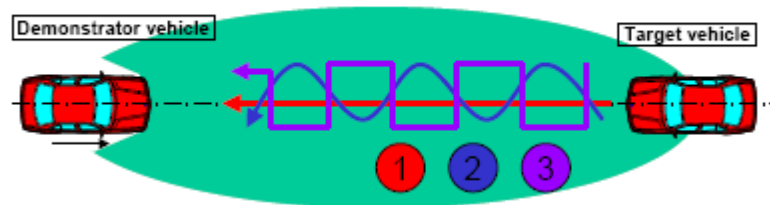


Figura 2-6. Distribución de pruebas, “1” frontalmente, “2” 45°, “3” 90°.

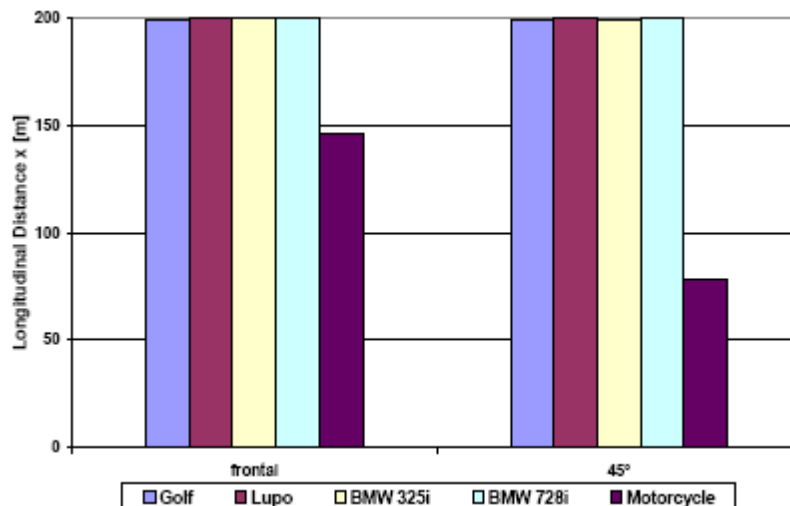


Figura 2-7. Precisión de alcance del láser al objeto.

La detección de los peatones también fue probada. Los resultados pusieron de manifiesto que el peatón es detectado correctamente y clasificado como un peatón a una distancia de 110 metros. En la prueba de 90 °, el VW Golf se detectó a 165 m aproximadamente.

### 2.2.9 Precisión del láser al alcance de objetos

En esta prueba se utiliza un muñeco de madera como objetivo del sensor.

Se coloca directamente en frente del vehículo de demostración, o en una posición de 45 °. Con el fin de determinar la exactitud a diferentes distancias, el vehículo se detiene y el objetivo se mueve en cada prueba.

La distancia relativa del objetivo es medida por el escáner láser y un dispositivo de referencia. La línea de referencia es situada unos 15 m por delante del eje trasero del vehículo de prueba, (el eje cero de la salida del láser). El objetivo se mueve desde esta posición hasta los 50 metros, de cinco en cinco metros, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m, 45 m 50 m. El promedio de error de la prueba, es de alrededor de 10 cm.

### 2.2.10 Precisión de localización

Esta prueba fue aplicada para examinar la precisión de localización del láser, el sistema de vídeo y salida de la fusión.

El sistema láser localiza la posición del vehículo mediante la detección de puntos de referencia, mientras que el sistema video utiliza marcas viales. A fin de determinar la distancia del vehículo de demostración a la intersección, se monta en la parte trasera del coche un sensor microondas y un sensor de barrera de luz. Se pusieron sobre el terreno cuatro reflectores en posiciones de referencia para la barrera de luz. Las distancias a la intersección de estas referencias eran de 10 m, 30 m, 50 m y 70 m, respectivamente. A partir de la velocidad del vehículo, medida por el sensor de microondas y las posiciones de referencia para el sensor de luz, la posición del vehículo puede ser calculada con precisión.

La prueba se llevó a cabo cinco veces. La localización de error para un ejemplo de la prueba se muestra en la Figura 2-8. El promedio de errores absolutos de cada prueba, así como la media de todas las pruebas, se resumen en la Figura 2-9. Los resultados de todos los sistemas de localización fueron continuos, es decir, se produjeron sin el corte de señal.

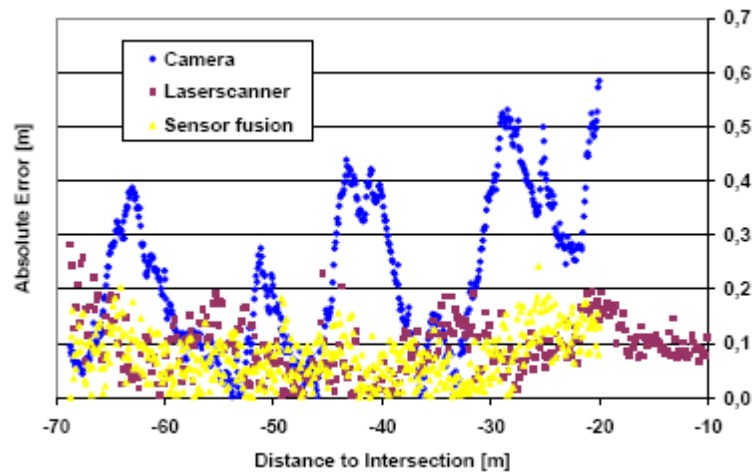


Figura 2-8. Error de localización frente a la distancia.

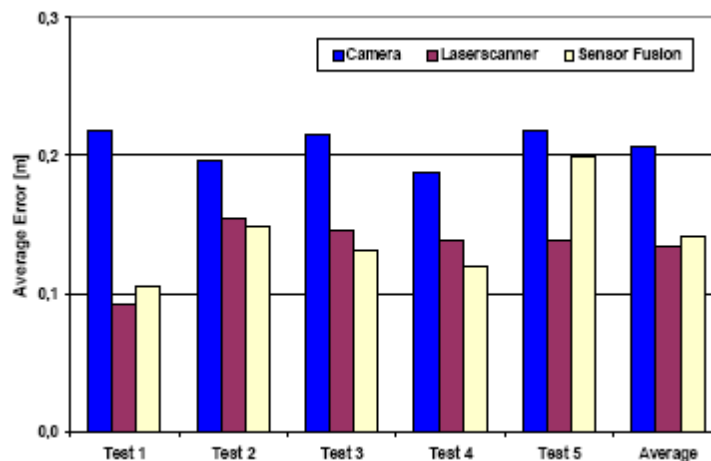


Figura 2-9. Precisión de distancia de localización.

### 2.2.11 Prueba del sistema

Las funciones del sistema en el nivel de aplicación de INTERSAFE fueron probadas en esta fase de evaluación. Las evaluaciones se llevaron a cabo sobre la base del número y el tipo correcto de alarmas, falsas alarmas y alarmas perdidas.

Durante la prueba, el vehículo de demostración fue conducido a través de la intersección y fueron evaluadas las funciones del sistema. Los resultados del sistema

de ensayo indicaron que el asistente de intersección tiene una tasa de alarma correcta del 93% en escenarios de giro a la izquierda y el 100% en escenarios laterales.

### 2.3 Proyecto SASPENCE, fusión multinivel de radar e imagen.

El proyecto SAPENCE (Safe Speed and Safe Distance), el cual pertenece al grupo PReVENT, patrocinado por la Comisión Europea, tiene como objetivo principal desarrollar y evaluar un sistema innovador de distancia y velocidad segura.

El sistema SAPENCE coopera y ayuda al conductor a evitar situaciones potencialmente peligrosas, relacionadas con la velocidad excesiva o con situaciones de tráfico denso, para diferentes escenarios, como curvas peligrosas, o entornos donde puedan aparecer obstáculos potencialmente amenazadores.

El diseño se basa en el enfoque de la accidentología y apunta a la restricción de la aceleración lateral dentro de las curvas, el control de la velocidad en función de la situación externa y el control de la distancia de los obstáculos, para evitar colisiones frontales.

Los sistemas de detección existentes pueden identificar la presencia de obstáculos y son capaces de ayudar al conductor, en general, en la parte delantera del vehículo o sólo en "porciones individuales" de los escenarios exteriores. Por lo que en este sistema se necesita la integración de sensores de diferentes tecnologías para dar soporte completo en todos los escenarios del entorno, ampliando los escenarios típicos de la carretera, a los escenarios rurales y urbanos en los que son típicas las curvas de menores radios.

#### 2.3.1 Descripción de la arquitectura del sistema

Para alcanzar los objetivos ya mencionados, es necesaria una reconstrucción fiable del escenario alrededor del propio vehículo. Para ello, el vehículo está equipado con varios tipos de sensores:

Un radar de rango amplio, que usa una frecuencia de 77GHz el cual es capaz de detectar obstáculos como coches, camiones, guardarraíles y árboles hasta una distancia de 150m.

Un sistema de detección de líneas, el cual proporciona información de las líneas de la vía, usando una cámara de 12-bits en escala de grises. Junto con la información sobre la ego moción del vehículo, también es usado un sistema DGPS para conocer la posición relativa en el sistema de coordenadas mundial.

Un módulo de comunicaciones V2V (Vehicle to Vehicle), recibe información relevante sobre la seguridad de la vía o peligros, de otros vehículos.

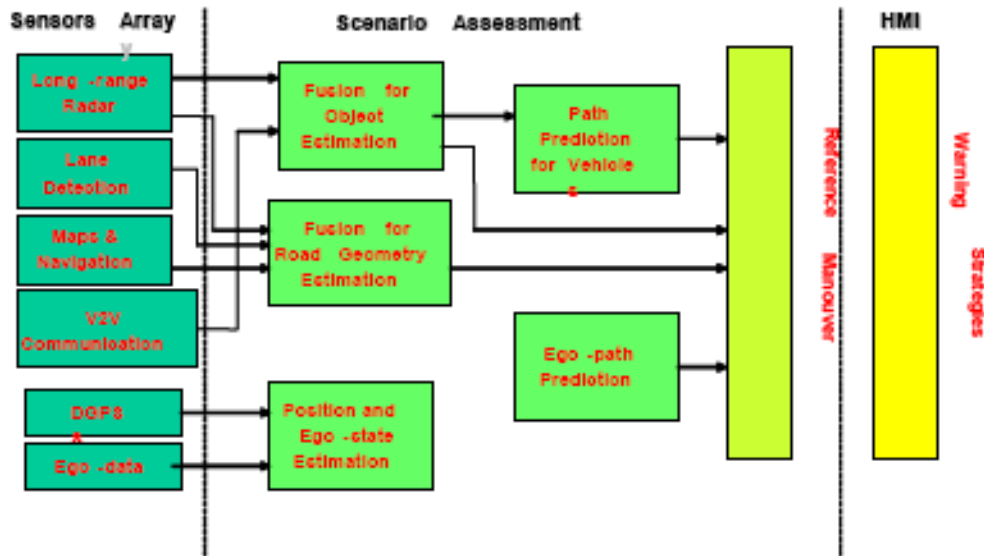
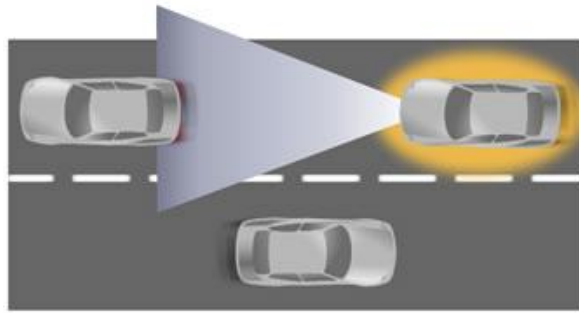


Figura 2-10. Arquitectura del sistema SAPENCE.

Los datos son fusionados dentro del sistema en múltiples niveles, para proporcionar una vista mejorada del entorno. Los datos del GPS e inerciales del vehículo son fusionados para proporcionar una estimación común de la posición y el estado del automóvil. A partir de la fusión de los puntos del mapa de navegación, de la información del radar y de la información de la detección de líneas, dadas por el sistema video de detección de líneas, es creado un modelo bastante exacto de la carretera.

Todos los vehículos detectados son fusionados con la estimación del camino del vehículo, para determinar sus posiciones relativas al vehículo host y la predicción de sus trayectorias. Entonces, el módulo de estrategias de intervención y alarmas (WIS) (warning and intervention strategies), recibe las señales de entrada de otros módulos (evaluación de escenarios y módulos de refinamiento) y da la salida al (HMI) human-machine interface, el cual se encarga de informar al conductor de algún peligro, o de iniciar una acción correctiva para el mismo, este es de vital importancia para la aceptación del sistema y de su eficacia, ya que en los últimos estudios se han demostrado que las soluciones tecnológicas de por sí no necesariamente mejoran la seguridad.

El criterio del WIS esta basado en una comparación entre la maniobra de referencia (la cual es un cálculo la trayectoria optima) y la predicción del camino del vehículo host; si la diferencia esta por encima de cierto umbral, es tomada una acción de apoyo. Dependiendo de la magnitud de esta diferencia, se proporciona un nivel de cooperación apropiado. Finalmente, la información y sugerencias al usuario son dadas por medio de varios canales (HMI).



**Figura 2-11. Ejemplo de detección mediante el sistema SASPENCE**



### Capítulo 3. Descripción del Hardware del Equipo

El diseño del sistema de reconocimiento y clasificación de obstáculos mediante fusión sensorial, para coche autónomo, está pensado para ser incluido en la plataforma ICab, por lo tanto, en este punto se explica el hardware necesario para su funcionamiento.



Figura 3-1. Esquema del Hardware del equipo.

#### 3.1 I-CAB

La segunda de las plataformas que dispone el Laboratorio de Sistemas Inteligentes es la denominada ICAB (Intelligent Campus AutoMóvil). En la actualidad consiste en un automóvil eléctrico, de la marca Ezgo, que ha sido adaptado para su control automático. De esta forma, se ha pretendido dar un paso más en la investigación en el tratamiento del entorno viario, ya que gracias a la posibilidad de control que provee esta plataforma, es posible no solo percibir, sino interactuar con el entorno que rodea al automóvil.

La plataforma, busca realizar actividades de transporte de mercancías y personas en entornos urbanos tanto viarios como peatonales. Para realizar tal tarea será necesario

incorporar sensores específicos que unidos a los ya existentes en el vehículo IVVI, permitan una detección del entorno rápida y fiable.



**Figura 3-2. Imagen de ICAB en el campus de la Universidad Carlos III de Madrid**

Los módulos que dispone la plataforma ICAB son:

- Telémetro Láser para obtener información del entorno.
- Sistema de visión estéreo.

Estas dos plataformas disponibles permiten la investigación de diferentes tipos de algoritmos y aplicaciones para la detección del entorno viario del automóvil.

El presente trabajo ha sido probado en la plataforma I-Cab que dispone de un sensor telémetro láser de la marca SICK LMS 291-S05. Además, el sistema de visión estéreo disponible en esta plataforma permitirá, en un futuro, integrar un sistema completo sensorial, gracias a los trabajos en detección de obstáculos en este tipo de tecnologías disponibles y realizados por el Laboratorio de Sistemas Inteligentes [7], [8], [9], [10] y [11].

### 3.2 Telémetro láser

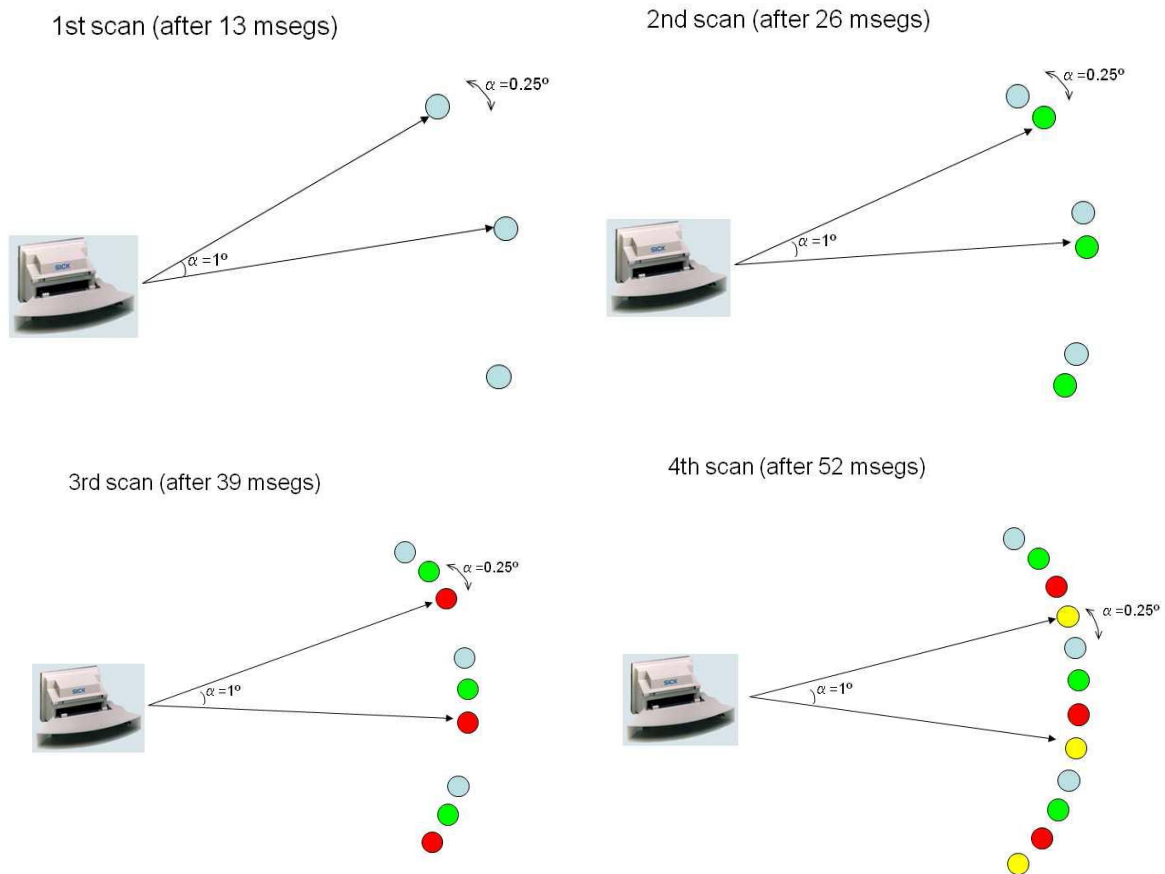
El telémetro láser es el modelo SICK LMS 291-S05, capaz de leer un plano de 2 dimensiones con una resolución desde 1° hasta 0,25 y con un campo de visión configurable hasta los 180°. La distancia máxima es regulable desde los 8 metros hasta los 80 metros. El periodo de muestreo del láser es de 13ms.



**Figura 3-3. Láser SICK LMS 291-S05**

Para la aplicación desarrollada se ha empleado la configuración a 0,25 de resolución y una distancia de 80 metros, con un ángulo de visión de 100°. La particularidad de este telémetro, que le hace ideal para este tipo de sistemas, es su modo de funcionamiento a esta resolución, que se explicará a continuación.

Para lograr la resolución deseada el láser realiza cuatro escaneos independientes de un grado cada uno de resolución, cada uno de ellos separado 0,25 grados con respecto a los demás. De esta forma es posible conseguir una resolución de 0,25 grados al cuarto escaneo.



**Figura 3-4. Comportamiento del láser para un escaneo simple de resolución 0,25°.**

Este comportamiento hace que sea posible identificar cuando los objetos se están moviendo debido a su singular patrón que deja a lo largo de las 4 rotaciones consecutivas. Este patrón será proporcional al movimiento del objeto y su trayectoria a lo largo de las cuatro rotaciones.

El láser fue montado en la parte frontal del coche, mediante un anclaje que provee el fabricante y adaptado para el espacio disponible en el carrito de golf modelo Ezgo TXT que se disponía.



Figura 3-5. Estructura de soporte del telemetro láser.



Figura 3-6. Láser SICK LMS 291-S05 montado en el coche.

### 3.3 Adquisición y Procesado

El láser se comunica con un PC, dotado de una tarjeta de adquisición modelo: **DSCLP- 200/300 2 port RS-422/485 Low Profile UPCI board**. De la marca Quatech [12].

Este modelo permite conectarse al láser a la máxima velocidad de conexión que puede dar la el puerto RS 422 del láser, 500kbps. Pese a que la configuración de la velocidad del puerto no sigue el estándar de velocidades, fue posible la conexionado a la máxima velocidad que resultó en una lectura de un escaneo cada 52msecs, con una frecuencia mayor de 19 Hz. La tarjeta provee de dos puertos, por lo tanto, es posible conectar hasta dos telémetros láser al mismo tiempo.

### 3.4 Cámara Web

Webcam Logitech Quickcam Ultra visión, nos proporciona imágenes reales del entorno en la dirección que estamos obteniendo datos con el radar láser, esto nos sirve para tener una mejor perspectiva de lo que esta pasando al tener la imagen real y la imagen del láser. A las imágenes dadas por la cámara no se le realizará tratamiento alguno, solo sirven de referencia visual.

Especificaciones:

Captura de video 640x480 @ 30 tramas por segundo, Imagen fija 1280x960, Interfaz de ordenador Hi-Speed USB- 4 Pin USB type A.



Figura 3-7 Webcam Logitech Quickcam Ultra Vision

### 3.5 Alimentación

El sistema de alimentación está compuesto por una batería de automóvil, de 24V y de un sistema transformador de corriente alterna a continua de 1000W de potencia, unidos mediante un relé. El sistema permite alimentar el resto de sistemas mediante una batería cuando el coche se encuentra en movimiento. El inversor de corriente escogido, de 1000W es un sistema sobredimensionado, debido a que se estima que en un futuro tanto el número de equipos, y sistemas de adquisición sean mayores.

Consumo de un ordenador más pantalla aprox. 400W.

Consumo del sistema Telémetro Láser 20W.

### 3.6 Visualización y E/S

La visualización del sistema, se realiza mediante una pantalla táctil, modelo Xenarc 7" 700 TSV. Que permite visualizar los resultados, además de servir, junto con un teclado, como sistema de entrada de datos del ordenador. La idea de emplear una pantalla táctil, no tiene gran relevancia de cara al presente proyecto, pero ha sido incluido en la plataforma para permitir servir de interfaz con el usuario al futuro sistema de conducción autónoma, que se incorporarán a la plataforma I-Cab, permitiendo elegir el destino deseado pulsando la pantalla táctil.



**Figura 3-8. Pantalla táctil de 7" models Xenarc TSV.**

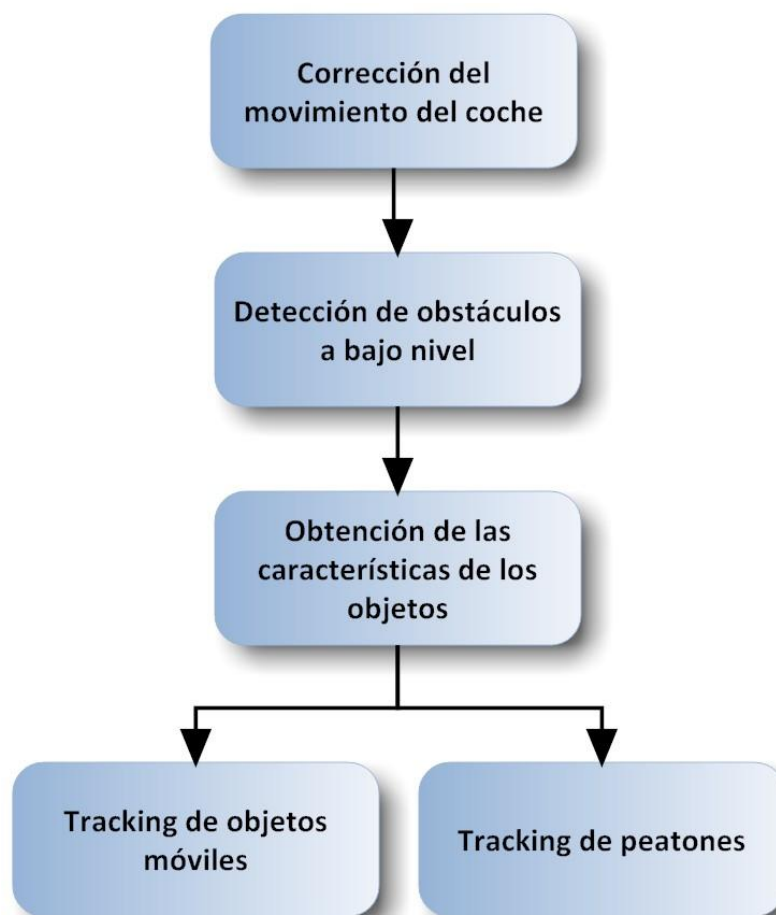




## Capítulo 4. Descripción de la aplicación.

### 4.1 Estructura del sistema

La aplicación esta compuesta de varios subsistemas que se ejecutan de forma secuencial cada vez que se recibe una imagen proveniente del radar láser. Cada uno de ellos será explicado en detalle en los siguientes apartados.



### 4.2 Corrección del movimiento del coche

Como se ha comentado en el apartado 3.2, el funcionamiento del telémetro láser permite que los objetos tengan una variación, a lo largo de los 4 escaneos,

proporcional al movimiento del coche en el que va montado el láser, así como del objeto detectado. De esta forma, aplicándole a los datos recibidos una corrección de los datos recibidos, de acuerdo a las medidas de egomoción del coche, es posible que la variación del patrón detectado sólo sea debida al movimiento de los objetos, permitiendo detectar a éstos.

La corrección del movimiento del coche se hace en dos pasos, corrección por translación, cambio de la posición del coche, y la rotación debido al cambio del ángulo de apuntamiento del coche (guiñada).

Corrección debida a la traslación del coche:

$$x = x_{original} - v \cdot \cos(\Delta\varphi) \cdot t_{rotacion}$$

$$y = y_{original} - v \cdot \sin(\Delta\varphi) \cdot t_{rotacion}$$

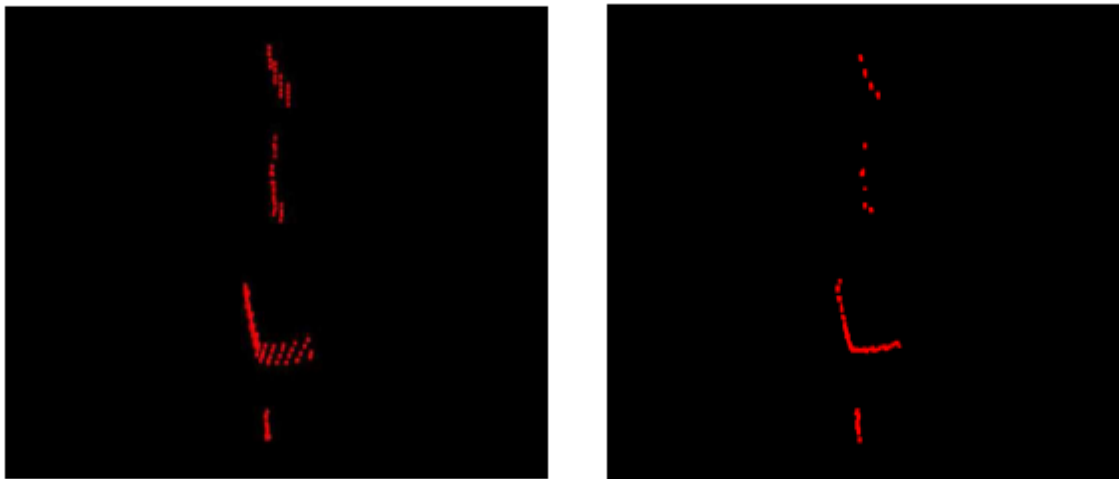


Figura 4-1. Corrección del movimiento del coche. Izquierda, patrón original, derecha, patrón corregido.

Corrección debida a la rotación del coche:

$$x = \cos(\omega) \cdot x - \sin(\omega) \cdot y$$

$$y = \sin(\omega) \cdot x + \cos(\omega) \cdot y$$

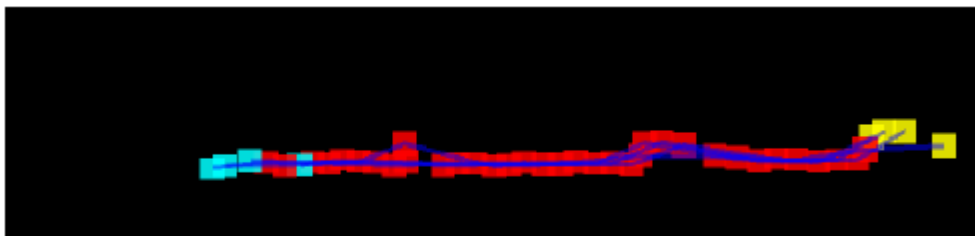
Donde  $\Delta\phi$  se corresponde con el cambio de ángulo en la traslación, que dependerá de la rotación en la que el punto haya sido calculado.  $V$  es la velocidad computada, y  $\omega$  es el ángulo de giro del coche.

### 4.3 Detección de obstáculos a bajo nivel

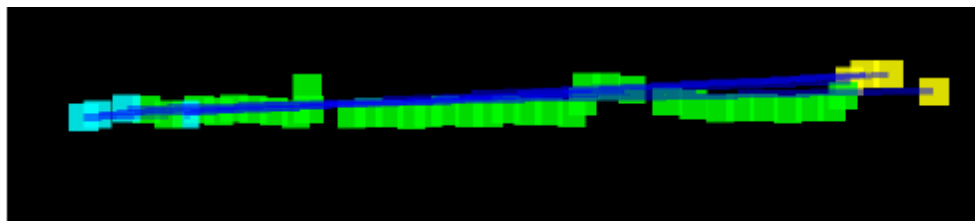
Una vez corregidos los datos con el movimiento del coche, se procede a unir los puntos según la distancia que los separa, si la distancia es menor que cierto umbral, se consideran parte del mismo obstáculo.

Una vez unidos los puntos, se eliminan los puntos que no han conseguido formar un conjunto al considerarse errores de detección o no obtenerse la suficiente información. Una vez agrupados, se unen los puntos entre sí, formando líneas de varios puntos que se denominan polylines. Estas polylines dan forma al obstáculo.

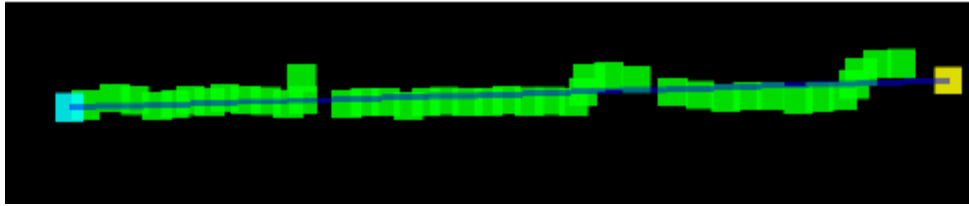
Una vez creadas las polylines, se agrupan los puntos dependiendo del tamaño y de la forma y se aporta la primera clasificación, se ha diferenciado entre **objeto con forma de L**, **peatón**, **borde de carretera** y **objeto móvil**.



(a)



(b)



(c)

Figura 4-2. Pasos del algoritmo de creación de las polylines. (a) Separación del obstáculo. (b) Creación de las polylines. (c) Unión de las diferentes polylines en una sola.

#### 4.3.1 Obstáculo con forma de L

El patrón con forma de L es el típico patrón de los automóviles, cuando éstos no están moviéndose. El sistema computará el ángulo entre dos líneas de la polyline, si el obstáculo solo tiene dos líneas y estas tienen un ángulo de separación de  $\pm 90^\circ$ , etiqueta este obstáculo como obstáculo con forma de L. Ésta etiqueta será muy útil para la detección de coches sin movimiento para el futuro sistema de fusión sensorial, ya que la información que proporcionará el sistema de visión artificial permitirá comprobar si este objeto es realmente un automóvil o no.



(a)



(b)

Figura 4-3. En azul objetos detectados con forma de L. En este caso, un automóvil estacionado. (a) El entorno visualizado en una imagen. (b) la lectura del láser.

#### 4.3.2 Borde de carreteras

El borde de carreteras se corresponde con dos tipos de obstáculos.

Si se encuentra un obstáculo de grandes dimensiones situado en los laterales de la carretera, se considerará como un borde de carretera. Éste tipo de obstáculo serían muros o paredes.

Por otro lado, si se encuentran numerosos obstáculos de tipo posible peatón en los bordes de la carretera estos se etiquetan como bordes de carretera ya que se pueden tratar de señales que limitan la carretera, setos, arbustos o árboles que bordean la carretera.

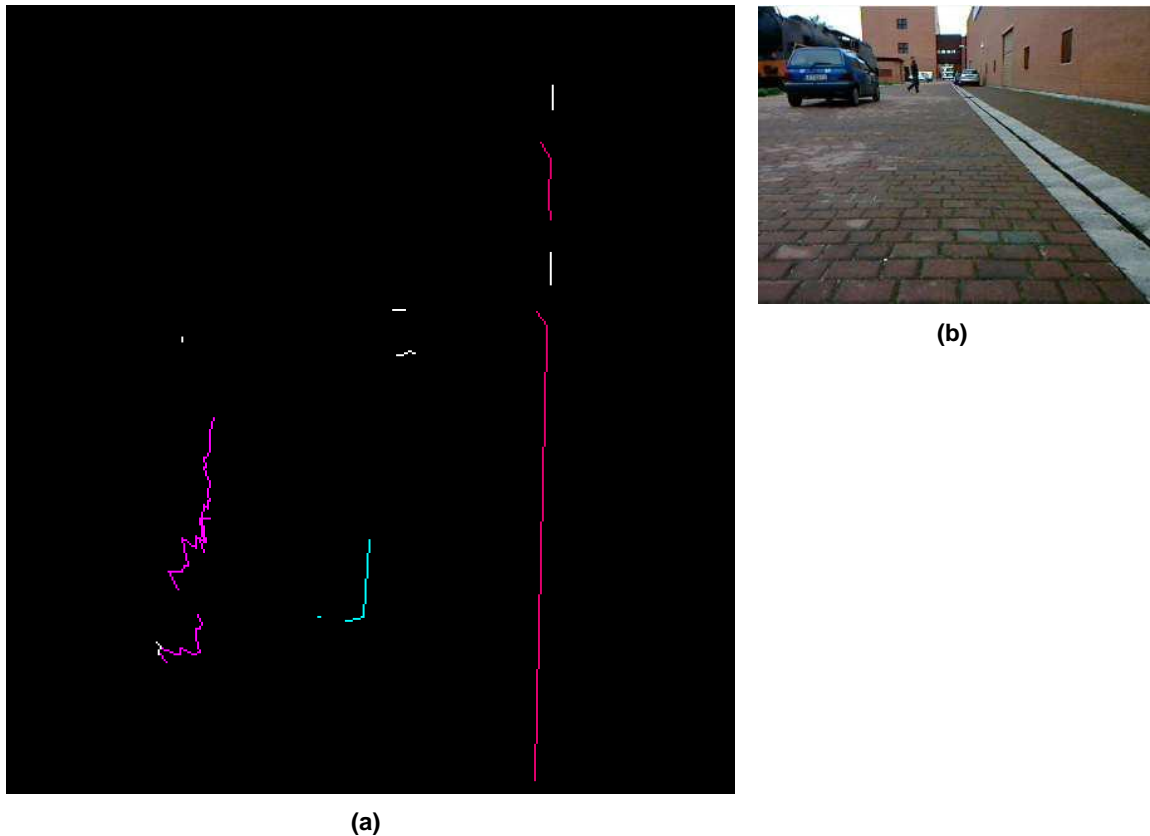


Figura 4-4. En rojo pared detectada como borde de carretera (a). Lectura del láser y visión de la cámara (b).

#### 4.3.3 Objeto Grande

Entran dentro de este conjunto de obstáculos todos aquellos que no hayan podido ser diferenciados en fases anteriores. Ya sea por su forma irregular, su tamaño u otros motivos.

#### 4.3.4 Objeto Móvil

Supone una de las partes más importantes de la aplicación y ha dado pie a varias publicaciones [13], [14], [15]. Se trata de hacer uso del especial comportamiento del láser, para aprovecharlo en la detección de objetos móviles, como en este caso, vehículos.

El retardo en cada una de las cuatro rotaciones que se realizan para un escaneo completo, hace que aquellos objetos que se están moviendo presenten un patrón característico, que es proporcional al movimiento del mismo. De esta forma se puede detectar cuando un automóvil está moviéndose y la trayectoria del mismo.



Figura 4-5. Patrón característico de un coche en movimiento.

Una vez realizado el cálculo de las polylines, los objetos en movimiento representan una polyline con forma de dientes de sierra que es detectada por el algoritmo.

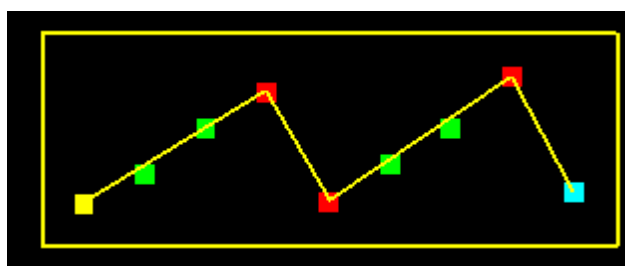


Figura 4-6. Patrón en dientes de sierra.

La divergencia de la posición de los puntos, unido al conocimiento de los periodos de rotación, permiten calcular la velocidad y aceleración de los obstáculos.

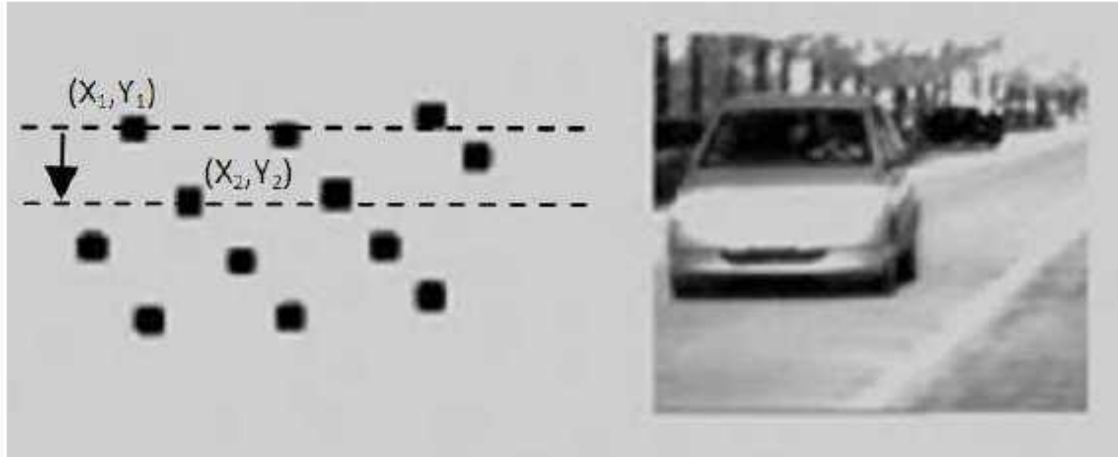


Figura 4-7. Variación de las rotaciones

$$v = \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}{T}$$

Donde  $T=13\text{msecs}$  que es el periodo de rotación del láser.

Esta velocidad es posible calcularla hasta un máximo de tres veces por escaneo del láser, por lo tanto, se podría calcular la aceleración, computando esta velocidad:

$$a = \frac{v_1 - v_2}{T}$$

Las medidas de velocidad y aceleración no son muy precisas, debido al desplazamiento de los ángulos  $0.25^\circ$  de cada rotación, pero suficientemente precisos para detectar falsos positivos, debido a velocidades y aceleraciones imposibles.

Como se puede observar en la figura 4-8, diferentes patrones pueden presentar formas parecidas a las del coche en movimiento, y pueden llegar a suponer errores de detección.

Típicamente estos errores son arbustos o árboles que pueden provocar ciertos objetos con forma serrada. Para solucionar esto, se tuvo en cuenta el tamaño del objeto, así como los ya mencionados límites en velocidades y aceleraciones.

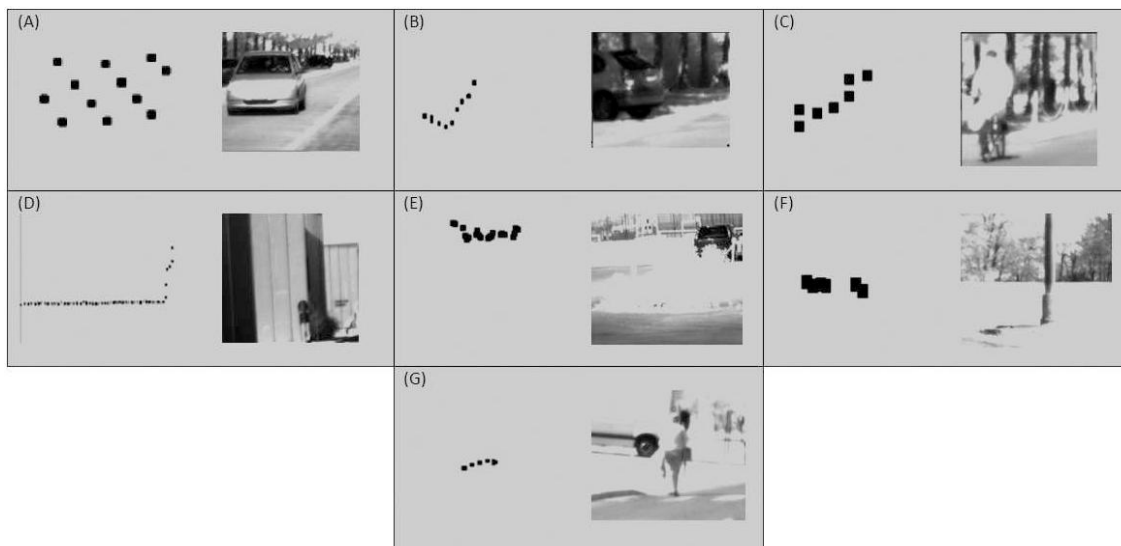


Figura 4-8. Diferentes patrones dados por el láser. (A) Coche en movimiento. (B) Coche aparcado. (C) Ciclista. (D) Edificio. (E) Arbustos. (F) Póster de luz. (G) Peatón.

#### 4.3.5 Posible Peatón

Son etiquetados como posibles peatones aquellos obstáculos cuyo tamaño es pequeño. La naturaleza de los peatones hace que tengan un patrón de reflexión muy estrecho, ya que por norma general se detectan las piernas de los mismos. Por lo que es fácil confundirlos con obstáculos cuyo patrón se parece a éstos, como es el caso de señales de tráfico, árboles... Los posibles peatones serán representados en blanco.

#### 4.3.6 Peatones

El patrón descrito por un peatón, es bastante diferenciable en ciertas ocasiones del resto de objetos que pueden aparecer en un vía normal. Con respecto al movimiento un peatón es más fácil de detectar si el mismo se dirige de cara hacia el láser o se aleja de él, y un poco mas difícil si este tiene una dirección perpendicular u oblicua al láser.

La detección del patrón de peatón varía con respecto a la distancia teniendo una mayor dificultad para diferenciarlo, cuanto mayor sea la distancia con respecto al láser.



### Secuencia de imágenes de un peatón alejándose del láser

Las imágenes mostradas a continuación, corresponden a unas secuencias de video de un peatón caminando en dirección contraria a la posición del láser. En la parte izquierda se muestra la imagen del láser, y a la derecha una representación de cómo sería en la realidad el peatón.

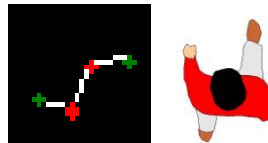


Figura 4-9. El peatón tiene la pierna derecha más adelantada que su pierna izquierda.

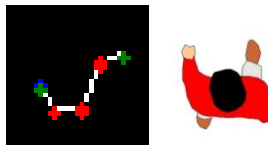


Figura 4-10. El peatón está llevando la pierna izquierda a la altura de su pierna derecha.

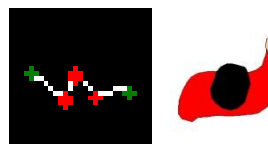


Figura 4-11. El peatón tiene las dos piernas a la misma altura, el pie derecho esta apoyado en el suelo, y el izquierdo en el aire con movimiento hacia delante.

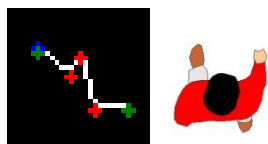


Figura 4-12. El peatón tiene la pierna izquierda por delante de la derecha, sin apoyar el pie derecho en el suelo.

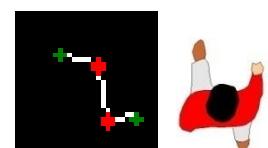


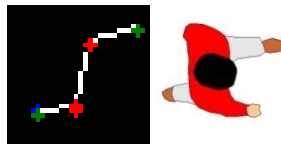
Figura 4-13. El pie izquierdo esta apoyado en el suelo, el peatón ha completado un paso.



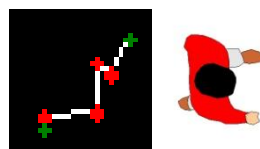
**Figura 4-14.** Imagen del peatón caminando, correspondiente a la figura 4-11, ya que tiene las dos piernas a la misma altura.

### **Secuencia de imágenes de un peatón caminando perpendicularmente al láser**

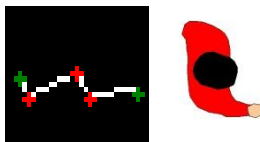
Las imágenes obtenidas corresponden a unas secuencias de un peatón caminando perpendicularmente al láser, en sentido izquierda-derecha. Como en el anterior caso en la parte izquierda se muestra la imagen del láser, y a la derecha una representación de cómo sería en la realidad el peatón.



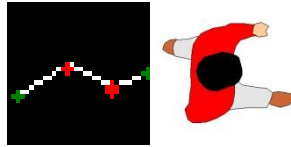
**Figura 4-15.** El segmento superior corresponde a la pierna izquierda y el segmento inferior corresponde a la pierna derecha.



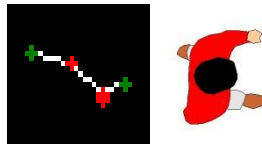
**Figura 4-16.** La pierna izquierda permanece quieta, mientras el pie derecho está avanzando.



**Figura 4-17.** El peatón tiene las dos piernas casi juntas, por lo que no se diferencia la izquierda de la derecha.



**Figura 4-18.** El peatón tiene la pierna derecha en una posición mas avanzada que la pierna izquierda, ha completado un paso.



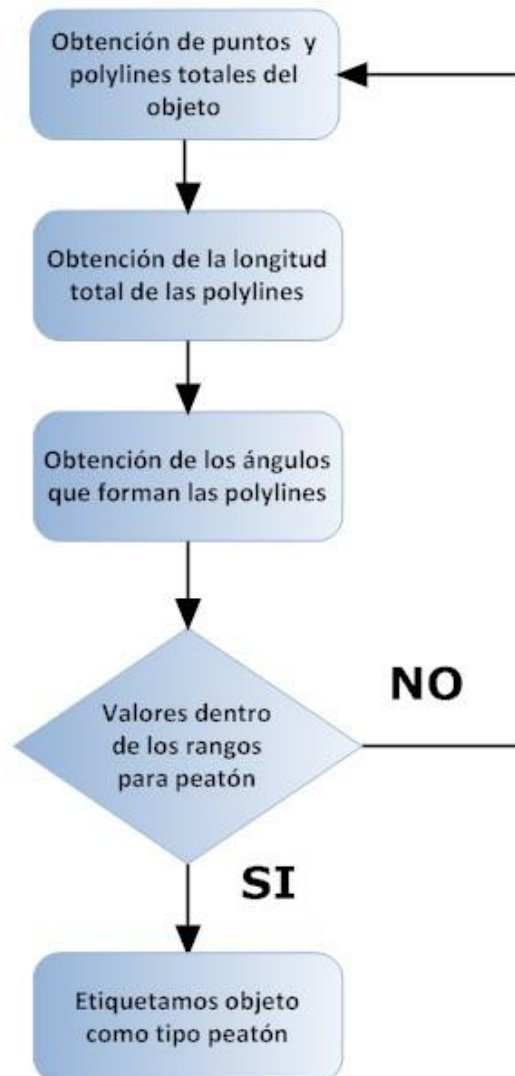
**Figura 4-19.** La pierna izquierda avanza para volver a empezar un paso.



**Figura 4-20.** Imagen del peatón caminando, correspondiente a la figura 4-18, ya que la pierna izquierda está en una posición retrasada con respecto a la derecha.

A partir de la observación de las secuencias dadas por el láser, podemos obtener los patrones de formas que identifican al peatón, y crear un algoritmo para su clasificación.

#### 4.3.7 Algoritmo de detección de patrón de peatón



A continuación se va a realizar una explicación de lo que se realiza en cada etapa.

#### 4.3.8 Obtención de puntos y polylines totales del objeto

Recorriendo todos los puntos que forman el objeto y sumándolos, se obtiene el número total de puntos, de esta manera también conocemos el número de segmentos que integran el objeto o también denominadas polylines, ya que estos serán el número

de puntos menos uno, los objetos de tipo peatón, tienen 4 o 5 puntos en la gran mayoría de las ocasiones.

Si el objeto tiene los puntos necesarios, se sigue con la comprobación, ya que así en caso negativo ahorramos el coste computacional de obtener la longitud y los ángulos que forman las polylines y verificar si están dentro de los rangos para ser un peatón.

#### 4.3.9 Obtención de la longitud total de las polylines

La longitud total se obtiene de la suma total de las longitudes de cada segmento que forma el objeto, obteniendo la longitud de un segmento a través de la formula siguiente

$$segLeng = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Donde  $x_n$  y  $y_n$  son las coordenadas en  $x$  y en  $y$  del punto  $n$ , donde  $n=1,2$ , ya que cada segmento solo puede tener dos puntos.

#### 4.3.10 Obtención de los ángulos que forman las polylines.

Si la comprobación es positiva, se pasa a verificar los ángulos que forman los segmentos entre si, dándose las siguientes posibilidades según el número de puntos y de la orientación de la figura que forma el peatón.

Suponiendo unos ejes de coordenadas como la figura 4-29 y tomando los ángulos formados comprendidos entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

La formula para la obtención del ángulo formado entre las polylines es la siguiente:

$$\text{ángulo} = \tan^{-1} \left( \frac{|y_2 - y_1|}{|x_2 - x_1|} \right)$$

Con el valor absoluto del numerador y el denominador, lo que conseguimos es que los ángulos obtenidos estén entre el 1<sup>er</sup> cuadrante y el 2<sup>o</sup> cuadrante, esto es, que el ángulo este comprendido entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , para que la comprobación posterior de los ángulos sea más simple. Esta formula se aplicara a cada segmento del objeto.

#### 4.3.11 Etiquetación del objeto como tipo peatón

Si el objeto examinado tiene todos los valores obtenidos anteriormente dentro de los rangos definidos, es identificado como objeto de tipo peatón y clasificado como tal. Su representación será de color verde.

### 4.4 Rangos de las variables para peatón

#### 4.4.1 Para 4 puntos y 3 segmentos con peatón acercándose o alejándose del láser

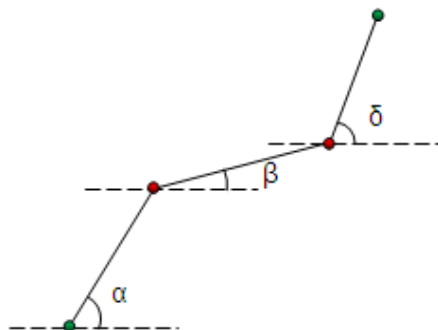


Figura 4-22. Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.

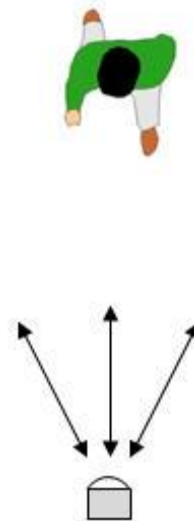


Figura 4-21. Representación del peatón acercándose al láser.

Donde los valores de los ángulos siguientes están entre los rangos posibles para que sea clasificado como peatón.

$$\alpha = [ 45^{\circ}, 90^{\circ} ]$$

$$\beta = [ 0^{\circ}, 55^{\circ} ]$$

$$\delta = [ 45^{\circ}, 90^{\circ} ]$$

El caso base corresponde con la figura 4-23, es una representación ideal de la forma del peatón, esta en raras ocasiones coincide, tiene muchas variaciones en la orientación de los segmentos y su longitud.

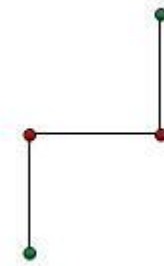


Figura 4-23. Caso base del peatón acercándose al láser.

#### 4.4.2 Para 4 puntos y 3 segmentos con peatón caminando perpendicularmente al láser

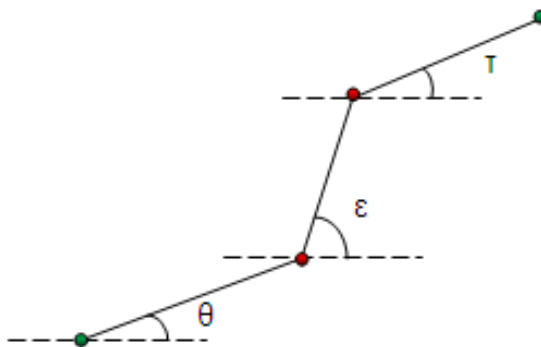


Figura 4-24. Polyline que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.

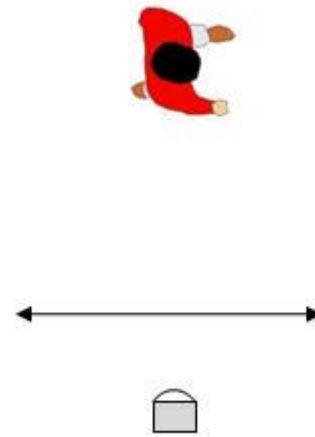


Figura 4-25. Representación del peatón caminando perpendicularmente al láser.

Donde los valores siguientes están entre los rangos posibles para que sea clasificado como peatón.

$$\theta = [ 0^{\circ}, 55^{\circ} ]$$

$$\varepsilon = [ 35^{\circ}, 90^{\circ} ]$$

$$\tau = [ 0^{\circ}, 55^{\circ} ]$$

Al igual que en el caso anterior, el caso base correspondiente a la Figura 4-26, es una representación ideal de la forma que puede tomar un peatón.

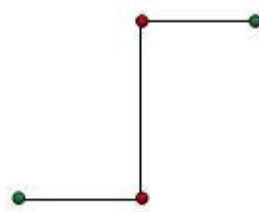


Figura 4-26. Caso base

#### 4.4.3 Para 5 puntos y 4 segmentos

En este caso no diferenciamos, si el peatón va caminando hacia el radar láser o perpendicular a el, ya que nos encontramos con el mismo patrón en los dos casos.

Tampoco obtenemos un caso base como para los casos anteriores de 4 puntos y 3 segmentos, debido a que no se encuentra una forma definida y estable, cuando el peatón es representado con esta configuración.

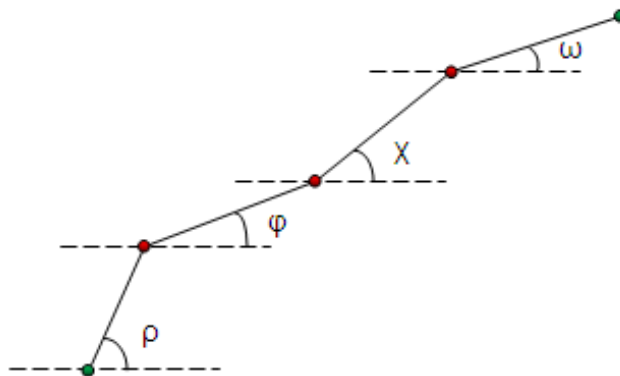


Figura 4-27. Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.

Donde los valores siguientes están entre los rangos posibles para que sea clasificado como peatón.



$$\rho = [ 35^{\circ}, 90^{\circ} ]$$

$$\varphi = [ 0^{\circ}, 45^{\circ} ]$$

$$\chi = [ 35^{\circ}, 90^{\circ} ]$$

$$\omega = [ 0^{\circ}, 45^{\circ} ]$$

$$\rho = [ 0^{\circ}, 45^{\circ} ]$$

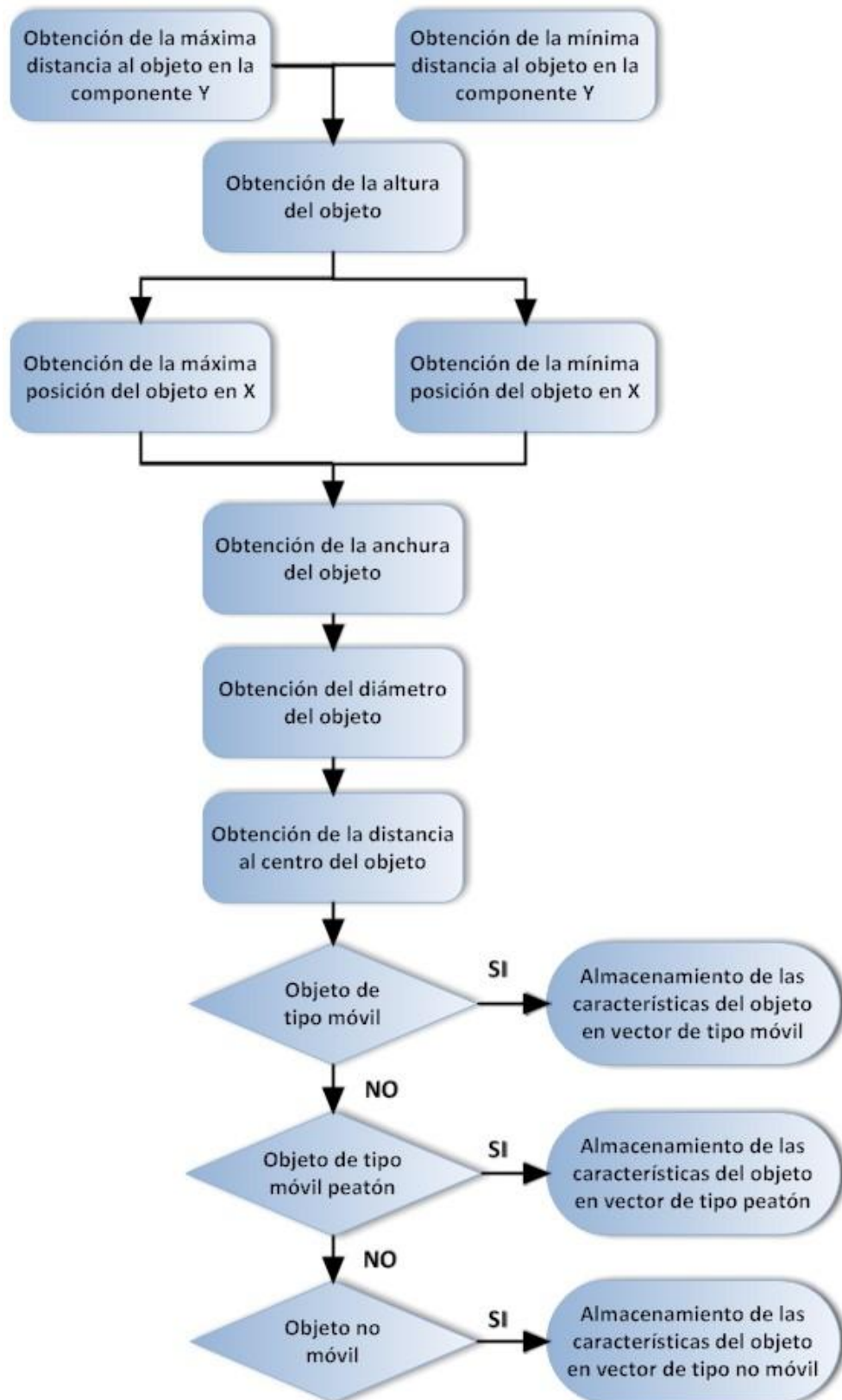
$$\varphi = [ 35^{\circ}, 90^{\circ} ]$$

$$\chi = [ 0^{\circ}, 45^{\circ} ]$$

$$\omega = [ 35^{\circ}, 90^{\circ} ]$$

#### 4.5 Obtención de las características de los objetos

En esta etapa para cada frame o imagen de las capturas, obtenemos para todos los objetos presentes en frame, procesados ya por el nivel bajo, es decir una vez creadas las polylines finales que componen a cada objeto, las características presentadas en el cuadro siguiente. Para ello recorreremos todos los puntos que componen cada objeto, adquiriendo su posición, para su procesamiento posterior. También se almacenan los objetos en diferentes vectores según su tipo, siendo esto muy necesario para la etapa de tracking.



A continuación se realizará una explicación de cada etapa en detalle.

#### **4.5.1 Obtención de la máxima y mínima distancia al objeto en la componente Y**

Recorriendo todos los puntos que forman el objeto y obteniendo las posiciones en la coordenada  $y$  de cada uno, podemos obtener el punto del objeto que tiene un menor valor  $y$  y el punto del objeto que tiene un mayor valor en la componente  $y$ .

#### **4.5.2 Obtención de la altura del objeto**

A partir de los puntos máximo y mínimo del objeto en la componente  $y$ , podemos obtener su altura haciendo la diferencia entre ellos.

#### **4.5.3 Obtención de la máxima y mínima distancia al objeto en la componente X**

Se realiza de manera similar a como se obtiene en la componente  $y$ , con la particularidad de que los valores de  $x$  pueden ser negativos.

#### **4.5.4 Obtención de la anchura del objeto**

A partir de los puntos máximo y mínimo del objeto en la componente  $x$ , podemos obtener la anchura haciendo la diferencia entre ellos.

#### **4.5.5 Obtención del diámetro del objeto**

Calculamos el diámetro aplicando la formula siguiente:

$$diámetro = \sqrt{anchura^2 + altura^2}$$

Donde anchura y altura son las calculadas anteriormente en el punto 4.4.4 y 4.4.2 respectivamente.

#### **4.5.6 Obtención de la distancia al centro del objeto**

Para el cálculo de la distancia al centro del objeto emplearemos la formula:

$$distancia\ centro = \sqrt{distancia_y^2 + distancia_x^2}$$

$$distancia_y = minDy + \frac{alto}{2}$$

$$distancia_x = maxDx - \frac{ancho}{2}$$

Donde  $minDy$  es la distancia mínima al punto del objeto en la coordenada  $y$  y  $maxDx$  es la distancia máxima al punto del objeto en la coordenada  $x$ .

#### 4.5.7 Identificación del tipo de objeto para su almacenamiento

En esta etapa obtenemos para cada objeto de un frame, el tipo de objeto que es, a partir de la clasificación hecha por el nivel bajo, según de que tipo sea el objeto, se guardará en un determinado vector, el cual contendrá para cada frame, todos los objetos clasificados de ese tipo. Tenemos por tanto 3 tipos de vectores, uno para los objetos de tipo peatón, otro para los de tipo móvil, (automóviles, camiones), y otro para todos los objetos presentes en la imagen, que no sean de los dos tipos anteriores, como guardarrailes, bordes de carreteras, objetos fijos, arboles, posibles peatones, etc. El almacenamiento de todos los objetos de cada frame separados por tipos, es muy útil para la etapa de seguimiento o tracking de objetos móviles y de peatones.

A partir de las características del objeto obtenidas en las etapas anteriormente descritas, podemos recuadrar el objeto para una mejor identificación en la etapa de seguimiento, quedando un ejemplo de la representación de un automóvil en la siguiente figura.

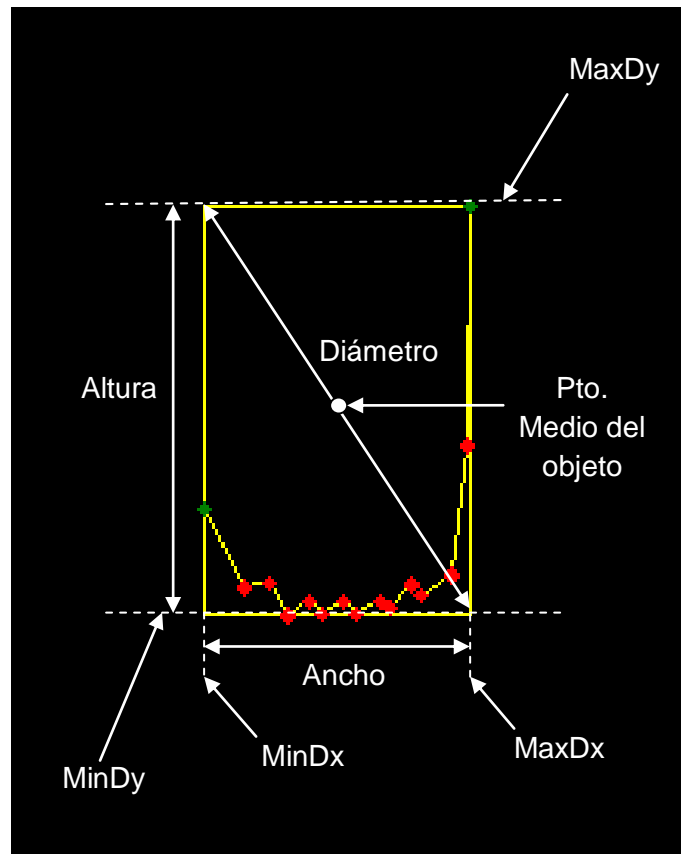


Figura 4-28. Ejemplo de las características de un objeto.

- Todas las distancias al objeto calculadas son tomadas a partir del radar láser que es tomado como punto de referencia, encontrándose en la posición  $x = 0$ ,  $y = 0$ , donde los puntos en el eje  $x$ , los cuales están situados a la izquierda del radar se toman como negativos y los situados a la derecha se toman como positivos, con respecto al eje  $y$  todos ellos son siempre positivos.

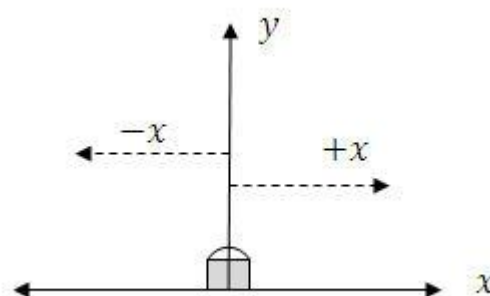


Figura 4-29. Representación de la toma de coordenadas.

## 4.6 Tracking de obstáculos a alto nivel

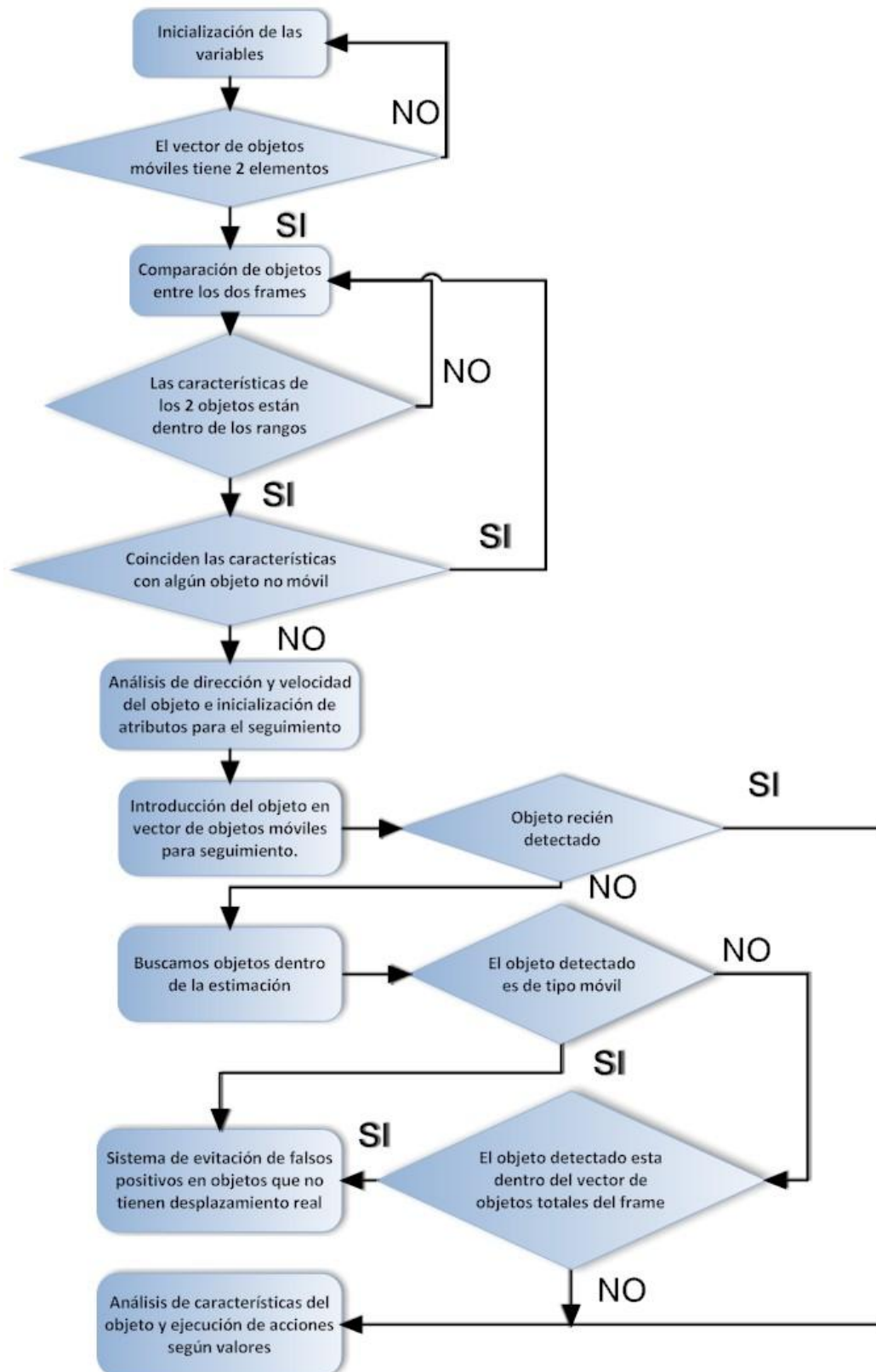
Una vez realizada la detección a nivel bajo, es decir, a partir de los datos en bruto de un simple escaneo y a la obtención de las características de los objetos, se procedió al desarrollo de una nueva etapa de seguimiento o tracking. La idea de esta etapa es, no solo seguir el movimiento del coche para predecir donde puede estar en la siguiente detección, además se busca evitar posibles errores de no detección de obstáculos. Por lo tanto dos son las partes fundamentales de una buena etapa de seguimiento:

- Realizar un control del movimiento que permita predecir donde va a estar situado el obstáculo en el siguiente escaneo, de tal forma que sea posible mantener un registro de sus movimientos pasados y predecir sus futuros.
- Ser capaz de detectar obstáculos incluso cuando éstos no han sido bien clasificados por el nivel bajo, corrigiendo errores de mala clasificación, o debidos a oclusiones parciales o totales y evitar en la medida de lo posible los falsos positivos.

Dos son los principales tipos de obstáculos de los que se va a encargar la etapa de seguimiento, en primer lugar los obstáculos móviles y en segundo lugar los peatones. En éstos últimos, se ha comprobado que una parte vital del algoritmo es la realización de un seguimiento eficiente, debido a que el patrón, explicado en el punto 4.3.6, no se da siempre en este tipo de obstáculos detectados, luego es vital que una vez que se ha realizado al primera detección, se pueda seguir el movimiento del obstáculo y de esta forma evitar que se pierda el rastro del peatón.

Los algoritmos de seguimiento para objetos móviles y peatones, son explicados a continuación.

#### 4.7 Tracking de objetos móviles



A continuación se realizará una explicación de cada etapa del algoritmo en detalle.

#### 4.7.1 Iniciación de las variables

Se establecen los valores de las variables a utilizar en el proceso de tracking, variables temporales, márgenes a aplicar para a búsquedas y exclusiones.

#### 4.7.2 Comparación de objetos entre los dos frames

La comparación se inicia cuando se poseen 2 elementos del vector de objetos móviles. Este solo puede tener 2 elementos como máximo, uno con los objetos de tipo móvil de la penúltima imagen y otro con los objetos de la imagen actual o última disponible en el momento de efectuar la comparación. Los elementos del vector no tienen por que ser de frames consecutivos, ya que puede darse que en una imagen no aparezca o no se detecte ningún objeto móvil y a la siguiente sí.

Para llevar a cabo la comparación, recorreremos mediante dos bucles, uno para cada elemento, obteniendo para cada objeto las características de distancia mínima al objeto en Y, posición máxima en X, posición mínima en X, anchura y área. Esto nos servirá para comprobar si un objeto se está desplazando dentro de un margen especificado y por lo tanto puede ser el inicio de un objeto al que se le haga un seguimiento.

Las tres figuras siguientes son un ejemplo de un objeto móvil detectado en dos frames consecutivos al que se le hace la comparación.

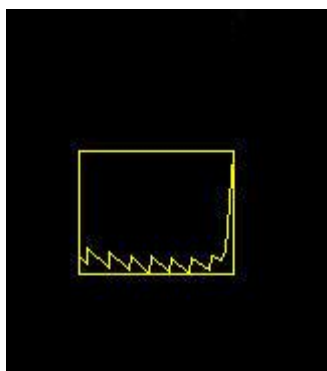


Figura 4-32. Imagen del objeto móvil en el anterior frame.

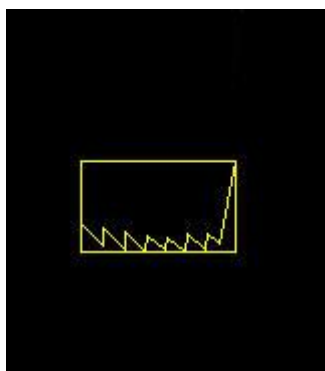


Figura 4-31. Imagen del objeto móvil un frame después o último disponible.

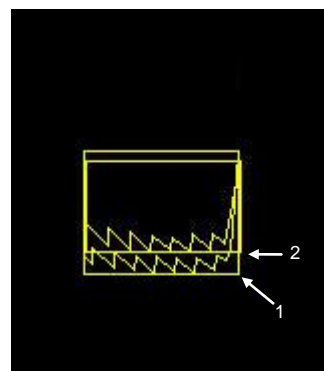
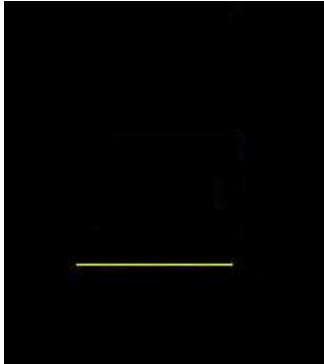


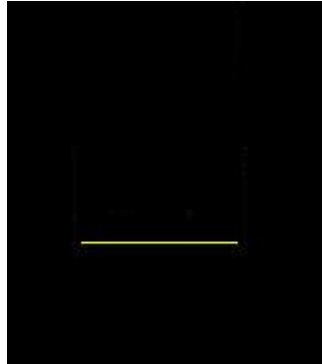
Figura 4-30. Superposición de las dos imágenes.



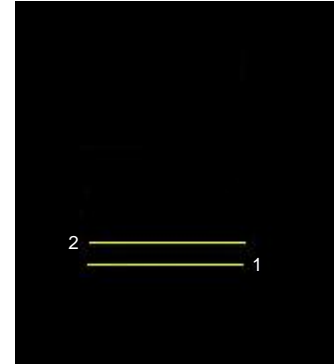
La figura 4-35 corresponde con los dos objetos superpuestos, donde se puede apreciar que el objeto se aleja de láser y se desplaza ligeramente a la derecha del mismo. El número 1 corresponde con el objeto del penúltimo frame, y el número 2 corresponde con el actual.



**Figura 4-34. Segmento correspondiente al objeto del último frame.**



**Figura 4-33. Segmento correspondiente al objeto un frame después.**



**Figura 4-35. Los dos segmentos superpuestos.**

Las tres figuras son representadas, con las posiciones mínima en Y, máxima y mínima en X, y su anchura. De esta forma podemos observar de una forma más visual como se producen las comprobaciones.

Para comprobar si los objetos son el comienzo de un objeto de tipo móvil al que hacer el seguimiento, se verifica que el segmento inferior del objeto perteneciente al frame actual, o en la figura 4-35 anterior con el número 2, está contenido dentro del área de comparación, formada por la suma de los márgenes a las posiciones del segmento del penúltimo frame o número 1 y si las anchuras de los mismos están dentro de los rangos especificados para objeto móvil.

El área, representada en la figura 4-36, está formado por cuatro lados, el lado superior se obtiene de la suma de la posición mínima en Y, mas el margen dado para Y, y el inferior de la misma manera solo que restando. El lado derecho sumando a la posición máxima de X, el margen en X, y el lado izquierdo restándoselo.

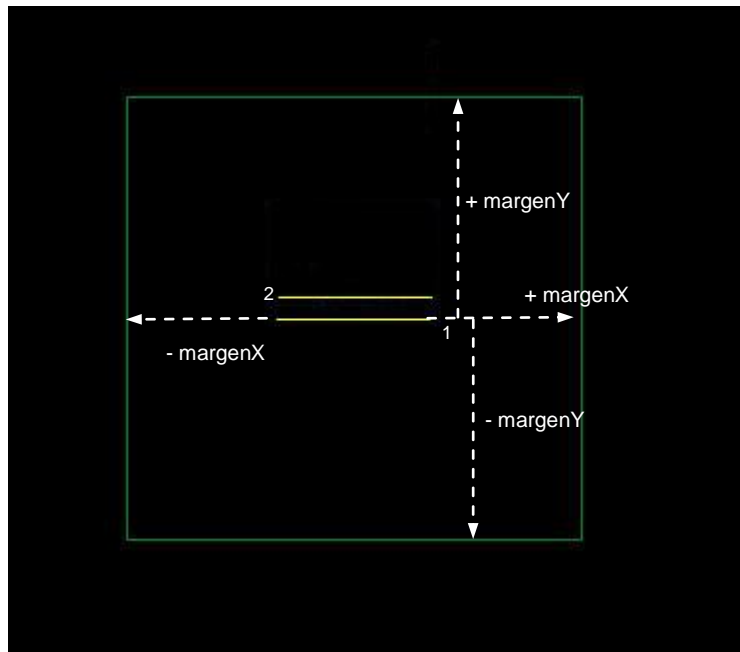


Figura 4-36. Área de comparación, en el que tiene que estar contenido el segmento del último objeto detectado.

Los valores de los márgenes aplicados son:

Margen Y= 2,21 metros

Margen X= 1,47 metros

El aplicado para la componente Y, está calculado para un objeto con velocidad máxima de 150 km/h, a más velocidad descartamos que sea un objeto móvil, pasándolo a m/s, obtenemos 41,67 m/s y como el láser nos da imágenes cada 53 mseg, podemos obtener la distancia que recorrería en ese tiempo.

$$d = v \cdot t = 41,67 \frac{m}{s} \cdot 53 \cdot 10^{-3} s = 2,2 \text{ metros}$$

El aplicado para la componente X, varía en su velocidad máxima, ya que los objetos en esta dirección (perpendicular al láser), no suelen ser usuales a esas velocidades, por lo que se ha calculado para 100km/h o 27,7 m/s.

$$d = v \cdot t = 27,7 \frac{m}{s} \cdot 53 \cdot 10^{-3} s = 1,47 \text{ metros}$$

Si la comparación es positiva, se verifica que el nuevo objeto detectado no sea un falso positivo, examinando en el vector de objetos no móviles, y comparando si hay alguno con características similares, situado en la misma zona más un margen de

distancia. Si es así el nuevo objeto detectado se desecha, si no se sigue con el proceso de tracking.

#### **4.7.3 Análisis de la dirección y velocidad del objeto e inicialización de atributos para el seguimiento.**

En este apartado se procede a la asignación de los valores de las variables que utilizamos en el proceso de tracking, mediante el estudio del movimiento del objeto, el cual se describe a continuación.

Cada objeto del vector de tracking, contiene estos atributos:

**Estimación en Y**, variable donde se guarda el valor de la distancia de la estimación para Y, esta se añadirá o restará según el valor de historial en Y, a la última posición mínima en Y conocida del objeto, proporcionando así la posición estimada del objeto en Y.

**Estimación en X**, variable donde almacena el valor de la distancia de la estimación para X, esta se añadirá o restará según el valor de historial en X, a la última posición mínima y máxima en X conocida del objeto, proporcionando así la posición estimada del objeto en X.

**Existe**, almacena el número de veces que se ha perdido el seguimiento de un objeto, aumenta cada vez que no detectamos ningún objeto dentro de la estimación, esto sirve para realizar el seguimiento de un objeto aunque este desaparezca del radar durante los frames que se estimen oportunos.

**Historial en Y de la dirección seguida**, variable del sistema de votación. Se emplea para corregir situaciones en las que el objeto lleva una dirección y sentido determinado y por un cambio en las geometrías del objeto en la siguiente estimación, se puede obtener que cambia de sentido y por tanto buscar en una zona contraria al historial almacenado y por tanto errónea. Cuando el valor de la variable sea menor que un cierto umbral, la dirección seguida será hacia valores negativos de Y y si es mayor que él será hacia valores positivos. El sistema aumenta o disminuye el historial según el sentido detectado cada vez que se hace una estimación.

**Historial en X de la dirección seguida**, variable del sistema de votación similar al anterior, cuando su valor sea menor que un cierto umbral, la dirección seguida será hacia la izquierda y si es mayor que el será hacia la derecha, se deja un valor intermedio como posición neutra.

**Nuevo**, nos indica si el objeto está recién detectado o no, si ya se le estaba haciendo un seguimiento anterior.

**Móvil**, variable que aumenta o disminuye según los sistemas de evitación de falsos positivos y de detección de objetos dentro de la estimación, cuando esta llega a un determinado límite el objeto se borra y se deja de hacer su seguimiento.

**Movimiento**, nos sirve para decidir si un objeto pasa de ser un objeto móvil a un objeto estático, para dejar de hacerle el seguimiento, o si sucede al contrario para no parar de hacérselo. Esa decisión es tomada evaluando la variable *Móvil* y comprobando si llega a un determinado límite.

### 4.7.4 Posibles sentidos en dirección Y

**Alejándonos del radar láser**, se produce un aumento en la distancia mínima en Y al objeto con respecto a la anterior imagen, la variable historial en Y se inicializa a un determinado valor.

**Acercándonos al láser** si el objeto en la ultima imagen tiene una distancia mínima en Y menor que en la imagen anterior, la variable historial en Y se inicializa a un determinado valor.

La estimación en Y para el seguimiento será la diferencia entre las dos distancias mínimas en Y al objeto de cada frame, tomando su valor absoluto.

Para obtener los posibles sentidos en la dirección Y, utilizamos solo la característica de distancia mínima en Y, ya que es mas fiable que el cálculo de las profundidades del objeto, o la altura del mismo, que en la mayoría de los casos puede no corresponder con las medidas del objeto en la realidad.

### 4.7.5 Posibles sentidos en dirección X

#### **Sentido izquierda.**

Se produce cuando las distancias mínima y máxima en X del objeto del último frame son mayores que las mismas distancias en el actual frame.

#### **Sentido derecha**

Se produce cuando las distancias mínima y máxima en X del objeto del último frame son menores que las mismas distancias en el actual frame. La variable historial en Y se inicializará a un determinado valor diferente del anterior.

La estimación en X será el resultado de hallar el mínimo de la diferencia entre las distancias mínimas en X del último frame y la del actual y de la diferencia entre las distancias máximas en X del último frame y la del actual, tomando su valor absoluto.

Si no se cumple ninguna de las condiciones anteriores, la estimación en X será nula y la variable historial en X se inicializa a un valor intermedio entre los dos valores anteriores.

#### 4.7.6 Casos en los cuales pueden darse errores de desplazamiento en X

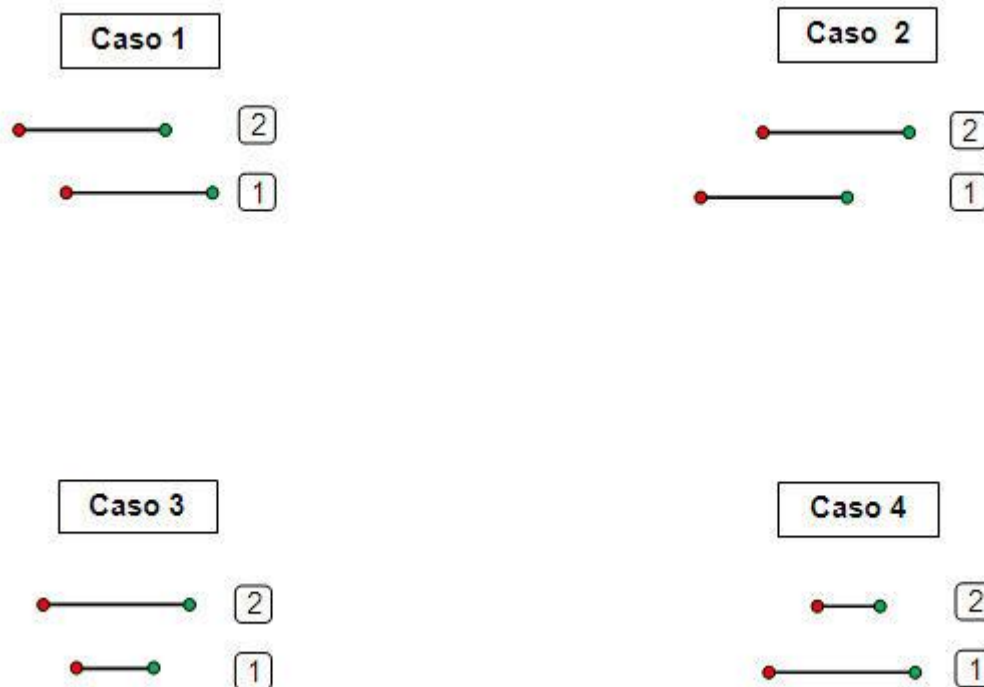


Figura 4-37. Representaciones de errores de desplazamiento en X.

Los cuatro casos se corresponden a un objeto móvil alejándose del láser, donde el segmento inferior del objeto con el número 1, es el perteneciente al penúltimo frame disponible, y el segmento con el número 2, es el mismo objeto en el frame siguiente o último disponible. Las posiciones de los segmentos de color negro corresponden con las posiciones mínimas en “Y” al objeto y su longitud corresponde a la anchura del mismo.

- El punto corresponde a la posición mínima en X al objeto.
- El punto corresponde a la posición máxima en X al objeto.

El caso 1 pertenece, al punto explicado anteriormente en “sentido izquierda” punto 4.7.5, en este caso no hay error, ya que podemos distinguir claramente que el objeto se ha desplazado a la izquierda con respecto al frame anterior.

El caso 2 se corresponden con el punto explicado anteriormente en “sentido derecha” punto 4.7.5, en este caso tampoco hay complicaciones al obtener la estimación en la dirección Y, ya que se puede distinguir que el objeto se ha desplazado a la derecha con respecto al frame anterior.

El caso 3 se produce cuando el objeto se ha ensanchado con respecto al frame anterior quedando, la posición mínima en X del objeto del punto 2 en una posición menor que la del objeto del punto 1 y la posición máxima en X del objeto del punto 2 en una posición mayor que la del objeto del punto 1, debido a esto no podemos obtener que sentido esta llevando el objeto de un modo correcto.

El caso 4 se produce cuando el objeto se ha ensanchado con respecto al frame anterior quedando, la posición mínima en X del objeto del punto 2 en una posición mayor que la del objeto del punto 1 y la posición máxima en X del objeto del punto 2 en una posición menor que la del objeto del punto 1, debido a esto no podemos obtener que sentido esta llevando el objeto de un modo correcto.

### **4.7.7 Introducción del objeto en vector de objetos móviles para seguimiento.**

Una vez obtenidas las variables o atributos mencionados anteriormente y realizado el análisis de su dirección, sentido y velocidad el objeto será introducido en el vector de tracking, donde estarán almacenados todos los objetos a los que se hace un seguimiento.

Si el vector de objetos móviles para seguimiento esta vacío el objeto se introduce directamente, pero si no cada vez que queramos introducir uno, se verifica previamente si hay alguno introducido que tenga características y posiciones similares mas un margen, si esto sucede el objeto detectado se desecha y no se introduce en el vector.

Si el objeto es recién detectado es decir a sido introducido por primera vez en el vector para seguimiento, se espera al siguiente frame para buscar un objeto en su estimación, si no se sigue al siguiente punto.

### **4.7.8 Búsqueda de objetos dentro de la estimación**

Obtenemos para cada objeto del vector de tracking, las características necesarias para la creación de la estimación:

Situación del objeto:

Distancia mínima al objeto en la componente “Y”, mínima y máxima en “X”

Según el valor de las variables antes descritas; historial de dirección en Y y en X, la ecuación de la estimación de la posición del objeto varía.

Si dirección en Y => umbral la distancia mínima en Y estimada quedará:

$$\text{MinEstY} = \text{distancia mínima en Y} + \text{estimacion en Y} * \text{variable existe}$$

Si dirección en Y < umbral la distancia mínima en Y estimada quedará:

$$\text{MinEstY} = \text{distancia mínima en Y} - \text{estimacion en Y} * \text{variable existe}$$

- Si la dirección en X => umbral el objeto se desplaza hacia la derecha del láser las posiciones de posición máxima y mínima en X será:

$$\text{MinEstX} = \text{posición mínima en X} + \text{estimación en X} * \text{variable existe}$$

$$\text{MaxEstX} = \text{posición mínima en X} + \text{estimación en X} * \text{variable existe}$$

Esta situación también es válida para cuando historial de dirección en X es nulo ya que en ese caso estimación en X=0.

- Si la dirección en X < umbral el objeto se desplaza hacia la izquierda del láser las posiciones de posición máxima y mínima en X será:

$$\text{MinEstX} = \text{posición mínima en X} - \text{estimación en X} * \text{variable existe}$$

$$\text{MaxEstX} = \text{posición mínima en X} - \text{estimación en X} * \text{variable existe}$$

Estos valores obtenidos son la estimación de la posición del objeto, esto quiere decir que dentro de un margen de variación, el objeto en el siguiente frame tendría que estar en esta posición.

A partir del conocimiento de la posición de la estimación, podemos buscar en el vector de objetos en movimiento para obtener su posición y volver a estimar la situación del objeto para el siguiente frame.

El área de estimación se obtiene añadiendo los mismos márgenes aplicados en el apartado 4.7.2 *Comparación de objetos entre dos frames*, denominados margenY y margenX de valores de 2,21 y 1,47 metros a las posiciones de la estimación del objeto de la siguiente manera:

El lado superior del rectángulo sumando el margenY a la posición **MinEstY** y el lado inferior restándole esa cantidad.

El lado derecho del rectángulo restando el margenX a **MinEstX** y el lado izquierdo sumándoselo a **MaxEstX**.

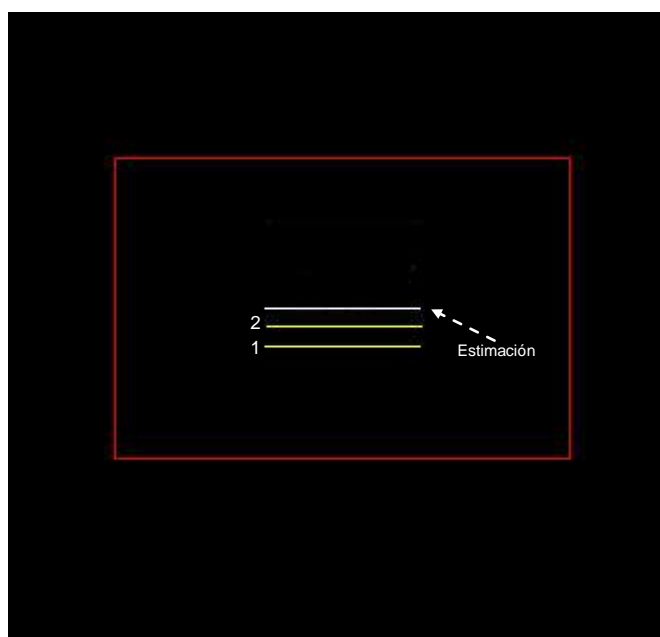


Figura 4-38. Representación de los segmentos de los objetos, la estimación y el área de estimación.

Los segmentos en amarillo con números 1 y 2, son los mismos que en la Figura 4-35, la línea blanca corresponde con la estimación de la situación del objeto en el siguiente frame, y el rectángulo rojo el área de estimación donde buscamos el objeto.

En la siguiente imagen (Figura 4-39), podemos observar que se ha trazado una línea que corta horizontalmente al recuadro, prolongando la línea de estimación del objeto, esta nos servirá para contabilizar si el objeto detectado lleva un sentido alejándose del



láser, si la posición mínima en Y esta por encima de la línea, o acercándose al láser si la posición mínima en Y esta por debajo de la misma.

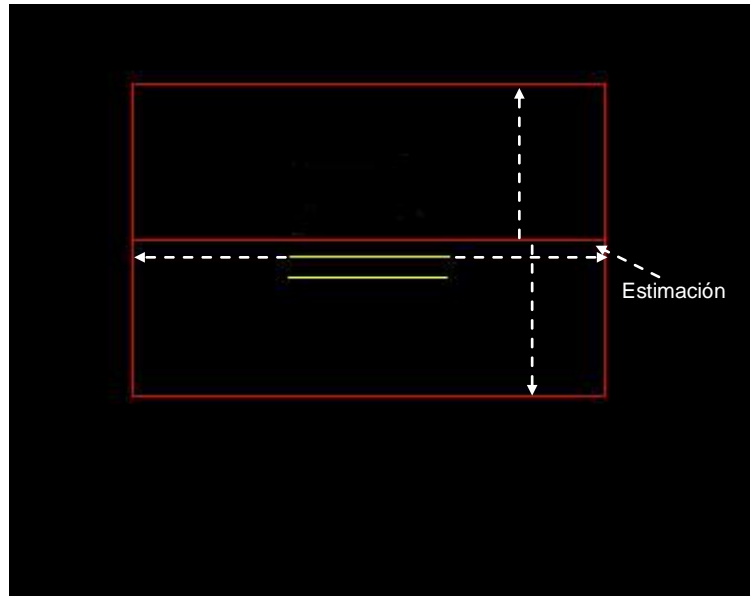


Figura 4-39. Representación del área de estimación con línea horizontal.

#### 4.7.9 Búsqueda dentro del vector de objetos de tipo móvil correspondiente al último frame que tenemos, un objeto que este dentro de la estimación realizada.

Buscamos en un primer momento solo en el vector con objetos de tipo movimiento si alguno esta dentro de la estimación para el objeto, esto se realizara para la estimación de cada objeto que haya en ese momento en el vector de objetos para tracking.

La búsqueda se realiza examinando en el área de estimación, si hay algún objeto que su distancia mínima en Y, y su posición mínima y máxima en X estén contenidas dentro de ella, también se comprueba que el objeto supera un margen de anchura mínima.

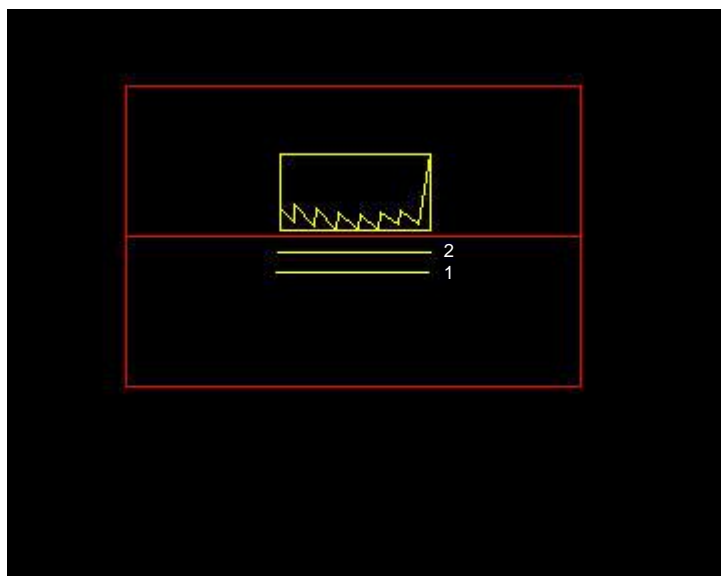


Figura 4-40. Segmentos de los objetos, área de estimación y objeto móvil.

Si localizamos un objeto dentro de la estimación que cumpla las condiciones, guardaremos la anchura del objeto detectado en una variable temporal. Esto nos sirve para quedarnos con el objeto que tenga una mayor anchura y eliminar falsos positivos, ya que puede haber mas de un objeto móvil que cumpla con la condición de estar dentro de la estimación, debido a que el nivel bajo nos proporcione unos objeto con características de objeto móvil, pero que no cumplen otros criterios como sus dimensiones, proporciones etc. Esto puede suceder por ejemplo, cuando se están obteniendo los datos de la forma de un vehículo y se produce una interrupción en la visión del láser, recibiendo dos objetos de tipo móvil, de los cuales el que tenga una mayor anchura (dentro de los rangos permitidos), tendrá mayores posibilidades de ser el objeto al que le estábamos haciendo el seguimiento.

Al finalizar esta etapa y ya con un objeto escogido como el detectado dentro de la estimación, se procede a actualizar el mismo dentro del vector de tracking, con el nuevo objeto detectado, obteniendo sus características como en el apartado anterior 4.7.3, en el que obteníamos la estimación en Y y en X y actualizando los historiales de dirección.

Para actualizar el historial y la estimación de Y, el sistema cambia, ya que ahora además de comprobar si el objeto tiene una posición mas adelantada o retrasada con respecto al objeto detectado, también se verifica que el historial de dirección en Y esta dentro del rango especificado, esto sirve para corregir una situación en la que el objeto haya cambiado al sentido contrario del que llevaba. Si los historiales están dentro de las especificaciones, obtenemos todos los datos necesarios para la actualización del objeto y así obtener la siguiente estimación: estimación en X y en Y, actualización del historial según el sentido del objeto y reemplazamiento del objeto por el detectado.

Para ello, se sigue el mismo procedimiento que el explicado anteriormente en el punto 4.7.8 *Búsqueda de objetos dentro de la estimación*.

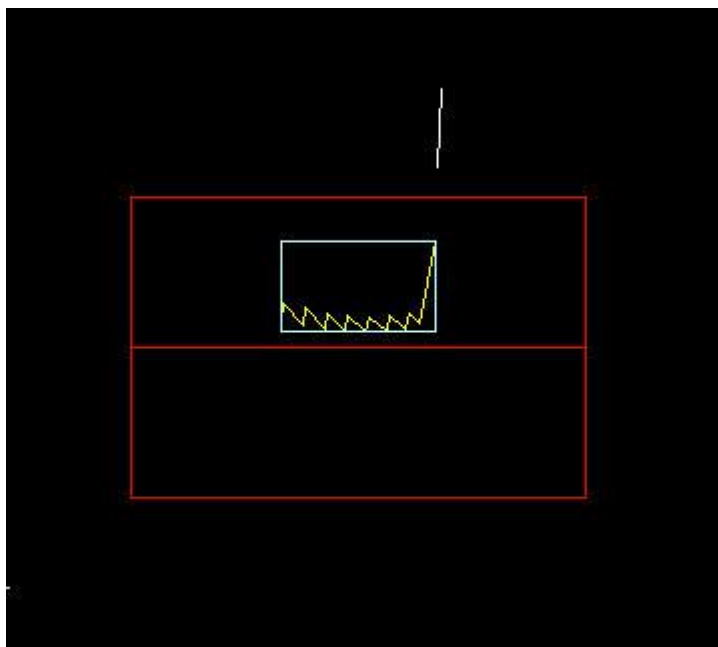


Figura 4-41. Objeto de tipo móvil detectado dentro de la estimación, se recuadra con color azul celeste.

#### 4.7.10 Sistema de evitación de falsos positivos en objetos que no tienen desplazamiento real.

Para evitar esto, obtenemos las posiciones mínima en Y y máxima y mínima en X al último objeto, antes de sustituirlo por el detectado dentro de la estimación y se guardan en variables temporales. Estas se restarán a cada componente correspondiente a las posiciones del nuevo objeto detectado, si las restas de las posiciones no superan un cierto umbral, se modificarán los valores de las variables de control que intervienen en el sistema. De esta manera si en las sucesivas detecciones del objeto este hecho siguiera sucediendo sería borrado, ya que sería un objeto móvil determinado por el nivel bajo, pero no móvil por el sistema de tracking.

#### 4.7.11 Búsqueda en el vector de objetos totales del frame dentro de la estimación si no se ha conseguido encontrar ninguno en el vector de objeto móviles del frame.

Se realiza de forma similar a la búsqueda de objetos móviles antes explicada, la única diferencia es que esta se realiza buscando en el vector de objetos totales del frame, el

cual contiene todos los objetos detectados en el frame. Esto es muy necesario ya que en el seguimiento de un objeto móvil, este es clasificado en ocasiones como no móvil por el nivel bajo, ya que no cumple las especificaciones necesarias para serlo, pero en realidad sigue siéndolo y por tanto tenemos que detectarlo y hacer su seguimiento.

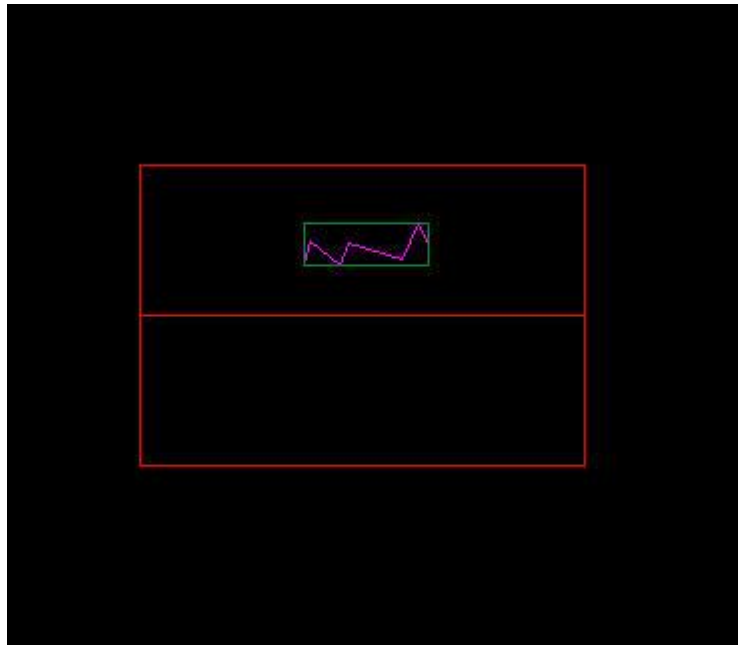


Figura 4-42. Objeto de tipo no móvil detectado dentro de la estimación, se recuadra con color verde.

Todos los pasos descritos anteriormente, se realizarán cada vez para cada elemento de del vector de objetos de tracking.

#### **4.7.12 Análisis de características del objeto y ejecución de acciones según valores.**

En esta fase analizamos los valores de las características del objeto, para realizar distintas acciones según en los rangos en que se encuentren.

Este análisis se produce para todos los elementos del vector de objetos de tracking.

Al terminar la evaluación de los atributos, se borra el elemento del vector de frame y el último elemento del vector de objetos de tipo móvil.

#### 4.8 Imágenes de secuencia de seguimiento de objeto móvil

Las secuencias son capturadas cada 11 frames, cada frame se toma cada 53mseg, por lo que cada imagen esta tomada cada 0,583 segundos, en ellas se puede apreciar un automóvil que se desplaza en dirección contraria al láser, con el seguimiento del mismo.

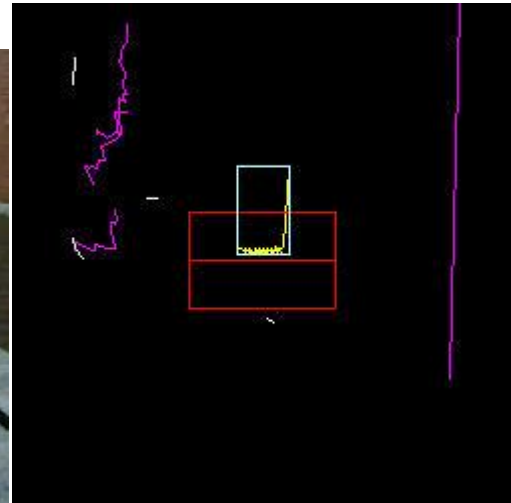


Figura 4-43. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame1.

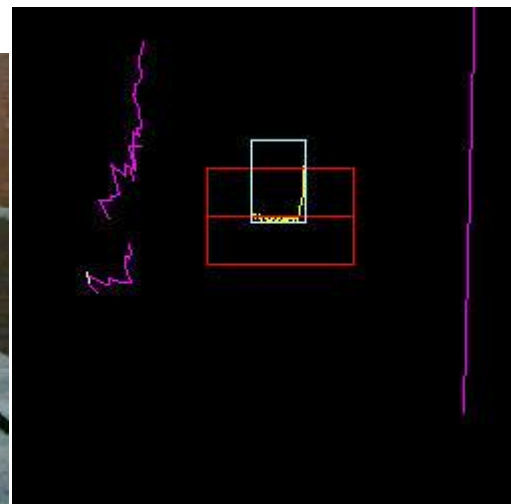


Figura 4-44. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 2.

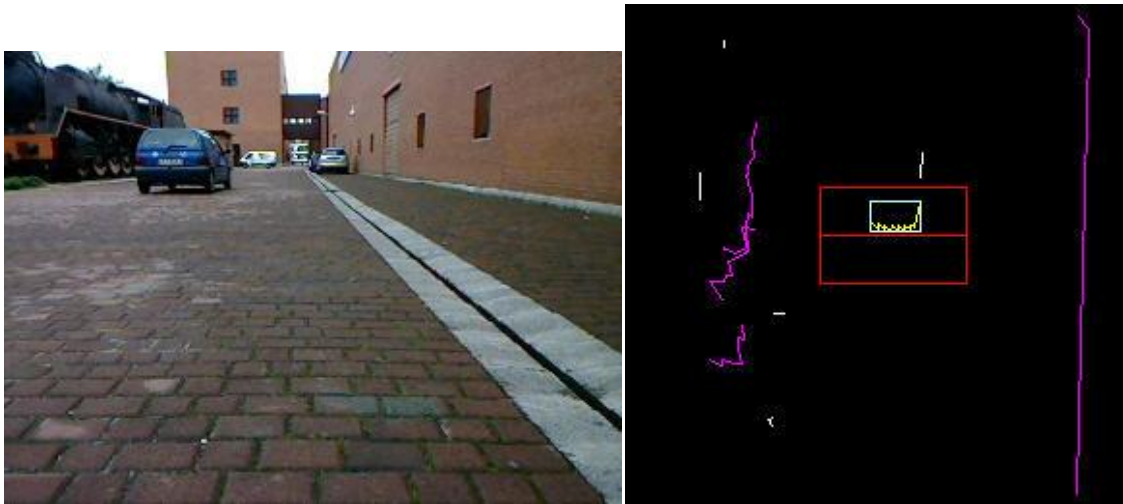


Figura 4-45. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 3.



Figura 4-46. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 4.



Figura 4-47. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 5.



Figura 4-48. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 6.





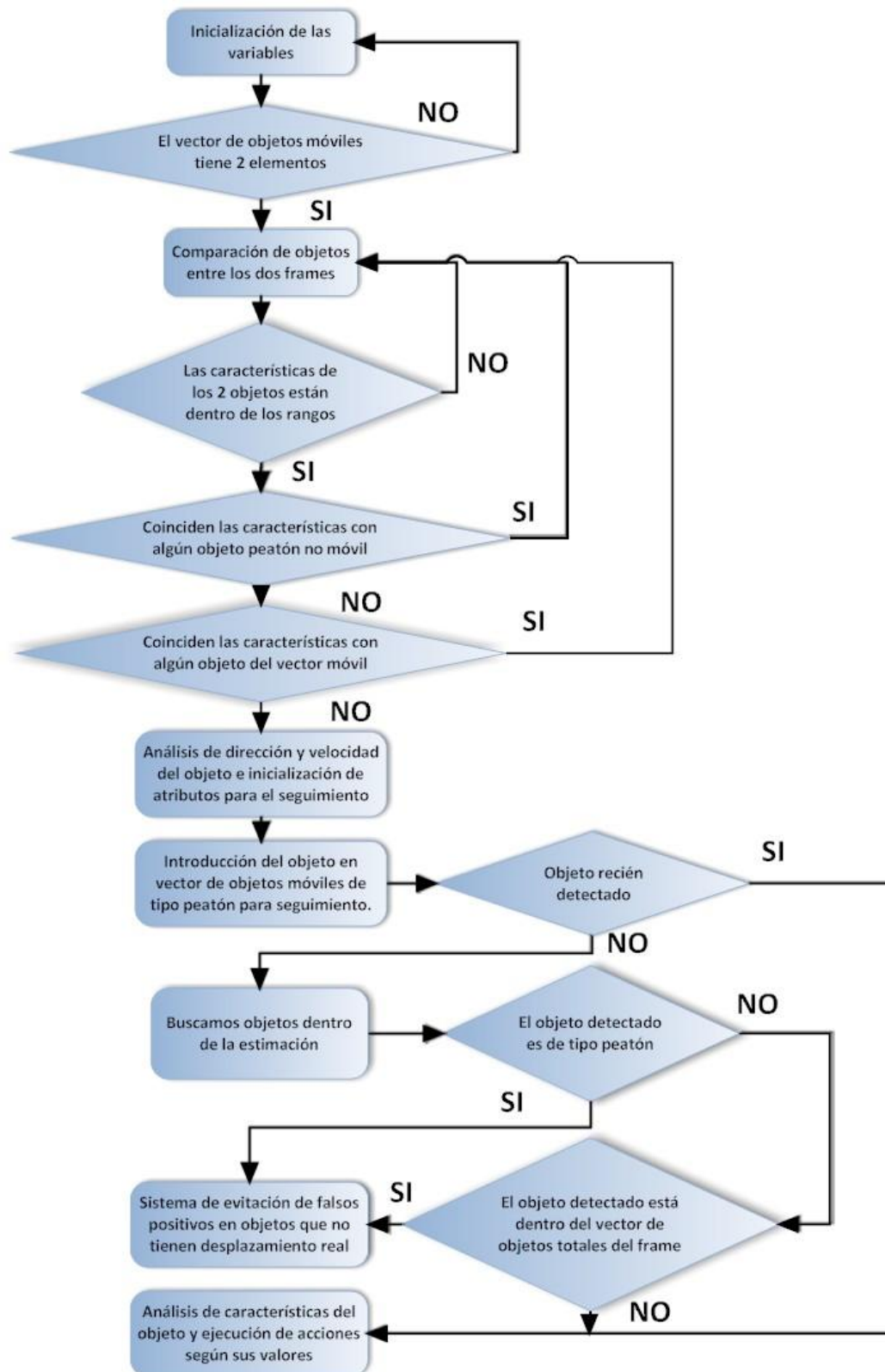
Figura 4-49. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 7.



Figura 4-50. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 8.



#### 4.9 Tracking de peatones



A continuación se realizará una explicación de cada etapa del algoritmo en detalle.

#### 4.9.1 Inicialización de las variables.

Se establecen los valores de las variables a utilizar en el proceso de tracking, variables temporales, márgenes a aplicar para a búsquedas y exclusiones.

#### 4.9.2 Comparación de objetos entre los dos frames.

Al igual que en el punto anterior para los objetos móviles, se comprueba el objeto del último frame y el actual son el mismo, se verifica que sus distancias mínimas en y, máxima y mínima en x, anchuras y áreas están dentro de un rango determinado, de esta manera podemos conocer con bastante seguridad que son el mismo objeto y poder empezar el seguimiento del mismo.

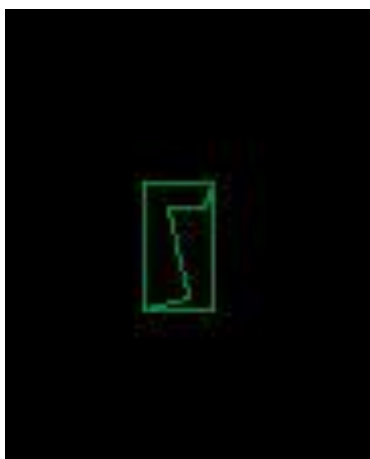


Figura 4-53. Representación del peatón en el anterior frame.

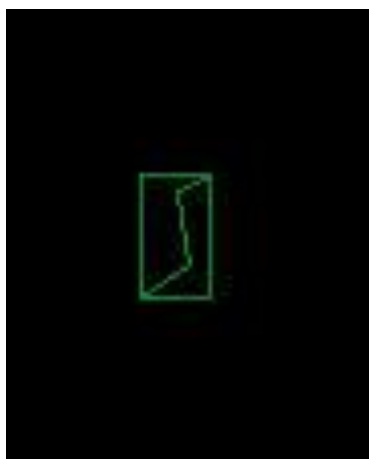


Figura 4-52. Representación del peatón en el último frame.

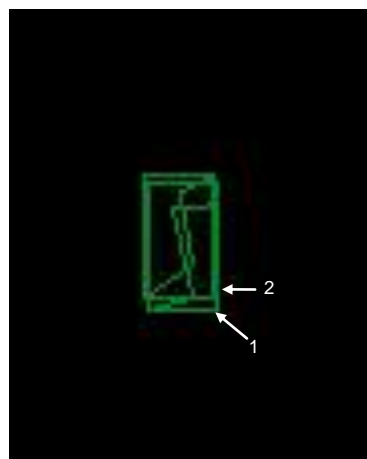
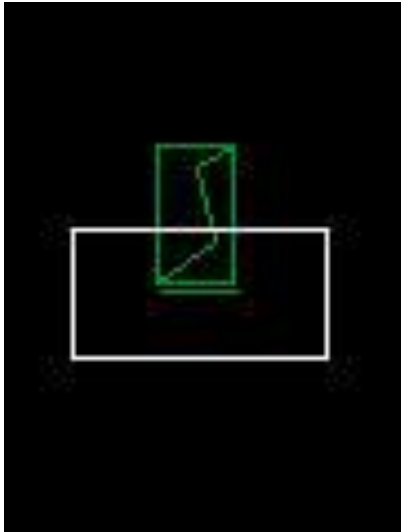
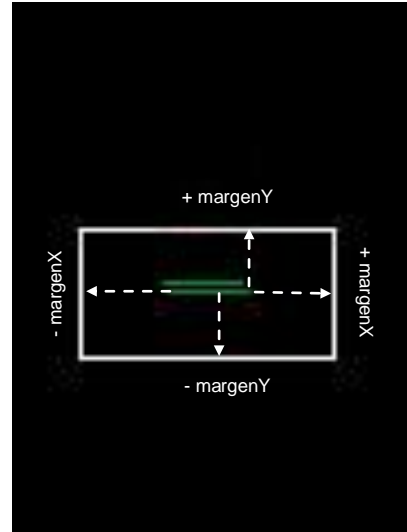


Figura 4-51. Superposición de las dos imágenes del peatón.

La figura de la izquierda corresponde con el objeto penúltimo frame, la figura central corresponde con el mismo objeto un frame después o último disponible, la figura de la derecha corresponde con los dos objetos superpuestos, donde podemos apreciar que el objeto se aleja de láser y se desplaza ligeramente a la izquierda del mismo. El número 1 corresponde con el objeto del último frame Figura 4-51, y el número 2 corresponde con el objeto de la figura 4-52.



**Figura 4-55. Segmento del objeto anterior e imagen del peatón del último frame y margen de verificación.**



**Figura 4-54. Segmentos de los objetos con el margen de verificación.**

Para comprobar si los objetos son el comienzo de un objeto de tipo peatón, se verifica que el segmento inferior del objeto perteneciente al frame actual, o en la imagen anterior, figura 4-53, con el número 2, está contenido dentro del recuadro formado por la suma de los márgenes a las posiciones del segmento del último frame o número 1. Esto se puede apreciar en las figuras 4-54 y 4-55. De la misma forma que se procedía en el punto anterior 4.7.2 para los objetos móviles, se verifica si las anchuras y las longitudes están dentro de los rangos especificados para objetos de tipo peatón.

Los márgenes aplicados para el caso de peatón, varían con respecto al caso de objeto móvil.

Los valores de los márgenes son:

Margen Y= 0,44 metros

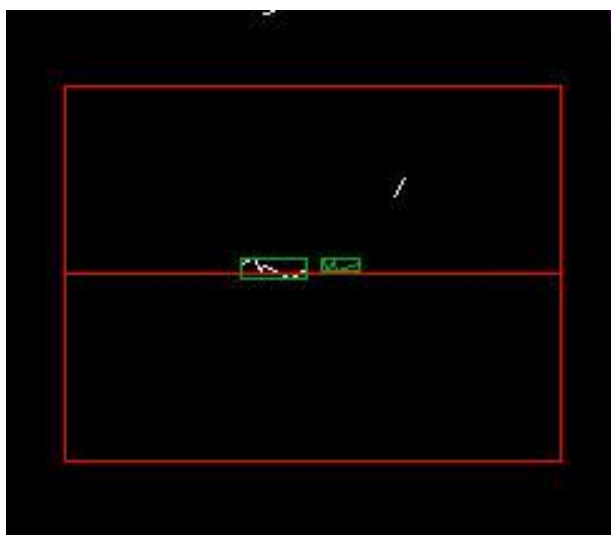
Margen X= 0,44 metros

El aplicado para la componente Y y X, está calculado para un objeto con velocidad máxima de 30 km/h, a mas velocidad descartamos que sea un objeto de tipo peatón, pasándolo a m/s obtenemos 8,33 m/s y como el láser nos da imágenes cada 53mseg, podemos obtener la distancia que recorrería en ese tiempo.

$$d = v \cdot t = 8,33 \frac{m}{s} \cdot 53 \cdot 10^{-3} s = 0,44 \text{ metros}$$

Comprobamos que el nuevo objeto detectado no sea un falso positivo, examinando el vector de peatones no móviles, y el vector de objetos móviles, (ya que se puede confundir en ocasiones un peatón con un objeto móvil si las características de anchura longitud y configuración de los segmentos están dentro de los rangos) y comparando si hay alguno con características similares, situado en la misma zona más un margen de distancia de. Si es así el nuevo objeto detectado se desecha, si no seguiremos con el proceso de tracking.

Imágenes donde se puede apreciar como actúa el sistema para evitar que realicemos seguimientos, a objetos de tipo peatón que en realidad no lo son.



**Figura 4-56. Objeto móvil y objeto de tipo peatón dentro de la estimación.**

Esto sucede en ocasiones en las que la forma del objeto móvil, queda dividida en dos formas en la que una de ellas puede tomar los rangos permitidos para ser un objeto de tipo peatón y continuar por varios frames, con los que puede dar al inicio de una detección y seguimiento del mismo.

Buscamos si para el objeto de tipo peatón, existe dentro del recinto, creado a partir de la adición de márgenes, un objeto móvil dentro del vector de objetos móviles para seguimiento

Por cada objeto del vector de objetos móviles para seguimiento, tendremos un recinto, si el objeto de tipo peatón, se encuentra contenido en alguno de ellos, se desecha, ya que este no es en realidad un peatón sino un falso positivo.

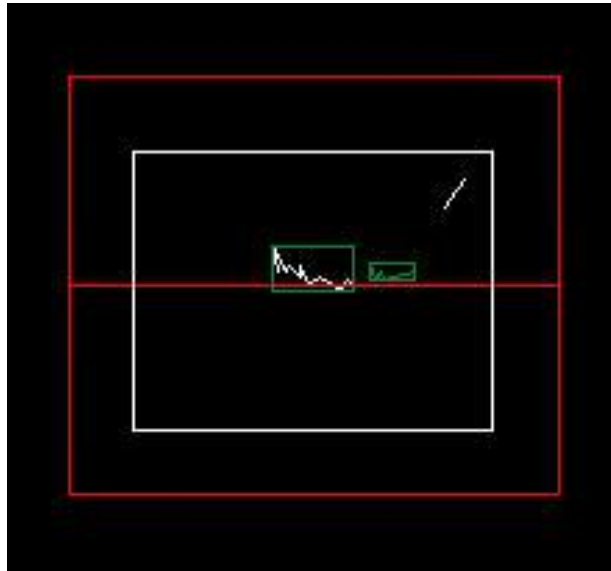


Figura 4-57. Objeto móvil y objeto de tipo peatón dentro de la estimación un frame después de la figura 4-56.

En las imágenes (Figura 4-56) y (Figura 4-57) se puede apreciar el objeto de tipo peatón “de color verde y recuadrado verde” se encuentra dentro del margen que se aplica “recuadro de color blanco”, y que se ha detectado un objeto como parte del seguimiento al objeto móvil, “recuadrado en verde” a partir del cual se ha hecho el recinto de exclusión, en rojo se muestra el área de estimación.

El recinto se crea añadiendo un margen de 1 metro a las componente de distancia mínima en la componente Y, para crear el segmento superior, otro a la distancia máxima en X, para crear el segmento derecho, para el segmento inferior sustraer el margen a la distancia mínima de Y y para el segmento izquierdo la misma operación utilizando la mínima posición en X.

#### 4.9.3 Análisis de dirección y velocidad del objeto e inicialización de atributos para el seguimiento.

Las variables o atributos utilizados para el seguimiento son los mismos que se utilizan para el apartado de seguimiento de objetos móviles, Estimación en Y, Estimación en X, Existe, Historial en Y de la dirección seguida, Historial en X de la dirección seguida, Nuevo, Móvil y Movimiento.

#### 4.9.4 Posibles sentidos en dirección Y

**Alejándonos del radar láser**, se produce un aumento en la distancia mínima en Y al objeto con respecto a la anterior imagen.

**Acercándonos al láser** si el objeto en la ultima imagen tiene una distancia mínima en Y menor que en la imagen anterior.

La obtención de la estimación en Y, se realiza de forma similar al caso de objetos móviles.

El resto de variables se inicializaría a los mismos valores que en el caso de objetos móviles.

#### 4.9.5 Posibles sentidos en dirección X

##### **Sentido izquierda.**

Se produce cuando las distancias mínima y máxima en X del objeto del último frame son mayores que las mismas distancias en el actual frame.

##### **Sentido derecha.**

Se produce cuando las distancias mínima y máxima en X del objeto del último frame son menores que las mismas distancias en el actual frame. La variable historial en Y se inicializará a un determinado valor diferente del anterior.

La obtención de la estimación en X, se realiza de forma similar al caso de objetos móviles.

#### 4.9.6 Casos en los cuales pueden darse errores de desplazamiento en X

Las situaciones en las que pueden darse error de desplazamiento en X, son similares al caso descrito anteriormente.

#### 4.9.7 Introducción del objeto en vector de objetos móviles para seguimiento.

Una vez obtenidas las variables o atributos mencionados anteriormente y realizado el análisis de su dirección, sentido y velocidad el objeto será introducido en el vector de tracking para peatones, donde están almacenados todos los objetos a los que se hace un seguimiento de la misma forma que se procede para los objetos móviles.

#### 4.9.8 Búsqueda de objetos dentro de la estimación

Obtenemos para cada objeto del vector de tracking, las características necesarias para la creación de la estimación de la misma forma que obtenemos en el apartado homologo para objetos móviles.

El área de estimación se obtiene añadiendo márgenes de la misma forma, que en el apartado 4.9.2, pero con un margen diferente, de valor 0.55 metros, (que correspondería con la distancia recorrida de un objeto con una velocidad de 37,33 km/h en 53mseg).

El lado superior del rectángulo se forma sumando el margen a la posición **MinEstY** y el lado inferior restándole esa cantidad, este margen nuevo se ha incrementado con respecto al margenY, que se aplicaba en el anterior apartado mencionado, ya que los peatones son objetos mas propensos a desaparecer de la visión del radar en varios frames, por lo que se ha querido reforzar la distancia de búsqueda.

El lado derecho del rectángulo restando el margenX ya aplicado anteriormente en el apartado, 4.9.2 *Comprobación de objetos entre dos frames*, a **MinEstX** y el lado izquierdo sumándoselo a **MaxEstX**.

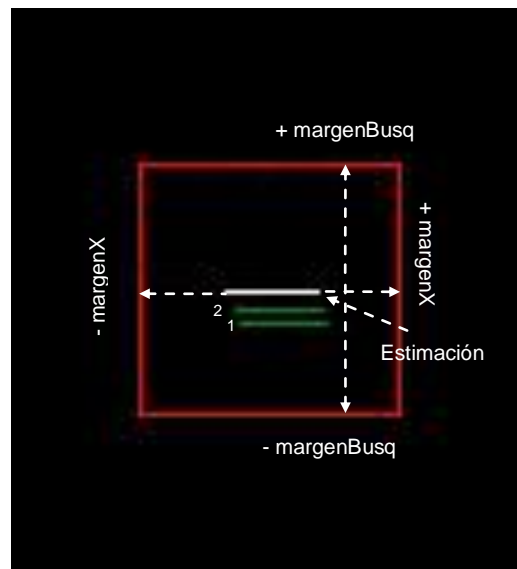


Figura 4-58. Segmentos de objetos, estimación y área de estimación, con márgenes aplicados.

La línea blanca corresponde con la estimación de la situación del objeto en el siguiente frame, el rectángulo rojo el área de estimación donde buscamos el objeto.

En la siguiente imagen podemos observar que se ha trazado una línea que corta horizontalmente al recuadro, prolongando la línea de estimación del objeto, esta nos servirá para contabilizar si el objeto detectado lleva un sentido alejándose del láser, si la posición mínima en Y esta por encima de la línea, o acercándose al láser si la posición mínima en Y esta por debajo de la misma.

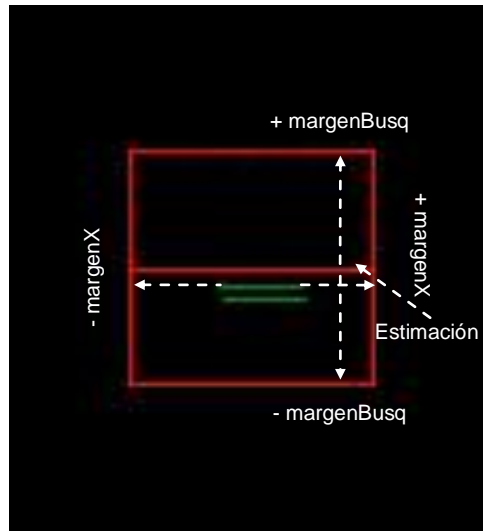


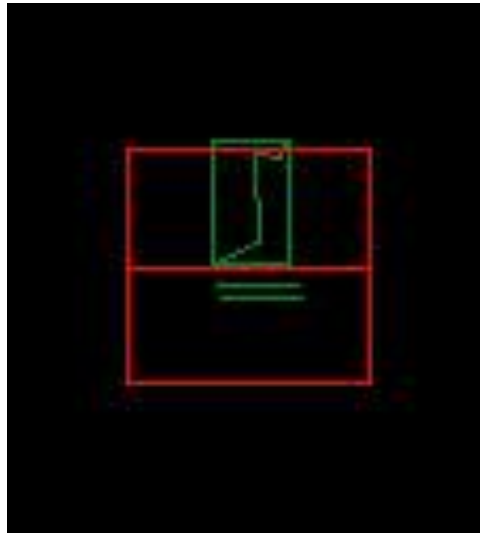
Figura 4-59. Segmentos del objeto, estimación, área de estimación y márgenes aplicados.

#### 4.9.9 Búsqueda dentro del vector de objetos de tipo peatón correspondiente al último frame que tenemos, un objeto que este dentro de la estimación realizada.

Buscamos en un primer momento solo en el vector con objetos de tipo peatón si alguno esta dentro de la estimación para el objeto, esto se realizará para la estimación de cada objeto que haya en ese momento en el vector de objetos para tracking, si no son recién detectados.

La búsqueda dentro de la estimación se realiza comprobando si hay algún objeto que su distancia mínima en Y, y su posición mínima y máxima en X estén contenidas dentro del área de estimación, también se comprueba que el objeto supera un margen de anchura mínima.





**Figura 4-60.** Segmentos del objeto, con el objeto un frame después dentro del área de estimación.

Si localizamos un objeto dentro de la estimación que cumpla las condiciones, guardaremos la anchura del objeto detectado en una variable temporal, esto nos sirve para quedarnos con el objeto que tenga una mayor anchura, y que cumpla con todos los requisitos para ser un peatón, ya que puede haber más de un objeto de tipo peatón dentro de la estimación

Al finalizar esta etapa y ya con un objeto escogido como el detectado dentro de la estimación, se procede a actualizar el mismo dentro del vector de tracking, con el nuevo objeto detectado. Obteniendo sus características como en el apartado anterior, en el que obteníamos la estimación en Y y en X y actualizando los historiales de dirección.

Para actualizar el historial y la estimación de Y, el sistema comprueba si el objeto tiene una posición mas adelantada o retrasada con respecto al objeto detectado, también se verifica que el historial de dirección en Y esta dentro del rango especificado, lo que sirve para corregir una situación en la que el objeto haya cambiado al sentido contrario del que llevaba. Si los historiales están dentro de las especificaciones, obtenemos todos los datos necesarios para la actualización del objeto y así obtener la siguiente estimación: estimación en Y y en X, actualización del historial según el sentido del objeto y remplazamiento del objeto por el detectado. Para ello, se sigue el mismo procedimiento que el explicado anteriormente en el punto 4.7.8, *Búsqueda de objetos dentro de la estimación*.

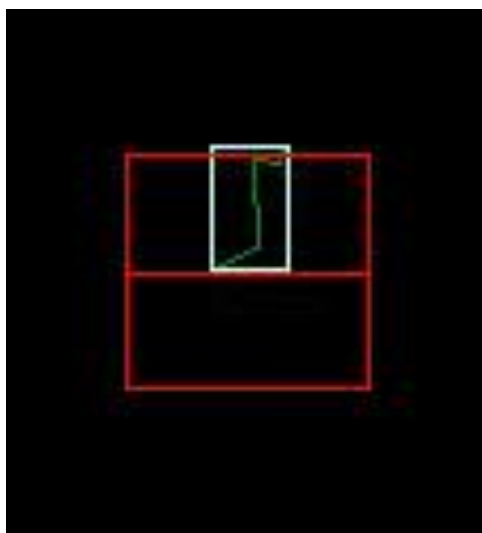


Figura 4-61. Objeto de tipo peatón detectado dentro de la estimación, se recuadra en verde amarillo.

Posteriormente se verifica si el objeto tiene un movimiento superior a un umbral de 0.015 m (como si el peatón fuera a 1Km/h) tanto en la dirección Y, como en la dirección X. Este sistema sirve para verificar si el objeto esta en movimiento o si esta estatico y no avanza en ninguna direccion como puede ocurrir con falsos positivos de peatones. Para detectar este suceso se hace la diferencia entre las posiciones mínima de Y, máxima y mínima de X, del último objeto apartir del cual hacemos la estimación y del objeto detectado dentro del área de busqueda. Si los tres resultados superan el umbral dado, se tomarán las acciones necesarias para modificar las variables que intervienen en la evitacion de falsos positivos.

Si anteriormente no es detectado en el vector de objetos de tipo peatón buscamos en el vector donde se encuentran todos los objetos del frame.

Se realiza de forma similar a la búsqueda de objetos móviles antes explicada, la única diferencia es que esta se realiza buscando en el vector de objetos del frame, el cual contiene todos los objetos detectados de la imagen. Lo único con lo que se difiere es la obtención de la estimación para la componente Y, que se realiza de la siguiente manera:

Donde minVec corresponde a la distancia mínima de la componente en Y del objeto detectado y minMov a la distancia mínima al último objeto conocido.

Si el objeto se aleja del láser:

$$EstimacionY = ((minVec - minMov) + (estimación Anterior))/2$$

Si el objeto se acerca al láser:

$$EstimacionY = ((minMov - minVec) + (estimación Anterior))/2$$

La búsqueda en el vector de todos los objetos del frame sigue siendo muy necesario al igual que para el caso de objetos móviles. Ya que en el seguimiento de un peatón no siempre nos vamos a encontrar con las formas establecidas para los objetos de tipo peatón, sino que localizaremos, por ejemplo, líneas rectas u otras formas aleatorias, que si coincidirán en tamaño y que siguen siendo el peatón. Por lo tanto tendremos que obtener su posición y continuar el seguimiento hasta que no podamos seguir con el proceso.

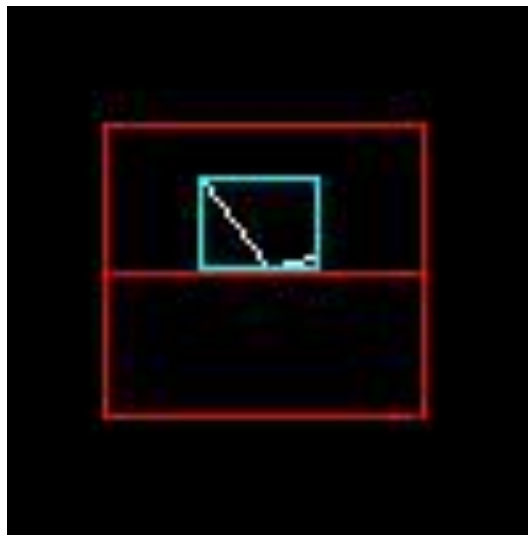


Figura 4-62. Objeto de tipo no peatón detectado dentro de la estimación, se recuadra en color cian.

Si hemos detectado algún objeto dentro de la estimación, este pasa por el sistema de evitación de falsos positivos de objetos que no tienen desplazamiento real y se actualizan los valores de las variables, al igual que en el caso anterior cuando detectábamos un objeto de tipo peatón.

#### 4.9.10 Análisis de características del objeto y ejecución de acciones según valores.

En esta fase analizamos los valores de las características del objeto, para realizar distintas acciones según en los rangos que se encuentren.

Este análisis se produce para todos los elementos del vector de objetos de tracking de peatones.

Al terminar la evaluación de los atributos, se borra el elemento del vector de frame y el último elemento del vector de objetos de tipo peatón.

#### 4.10 Secuencia de imágenes de seguimiento de peatón

Las secuencias son capturadas cada 11 frames, cada frame se toma cada 53mseg, por lo que cada imagen esta tomada cada 0,583 segundos.



Figura 4-63. Imagen del peatón dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 1.



Figura 4-64. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 2.

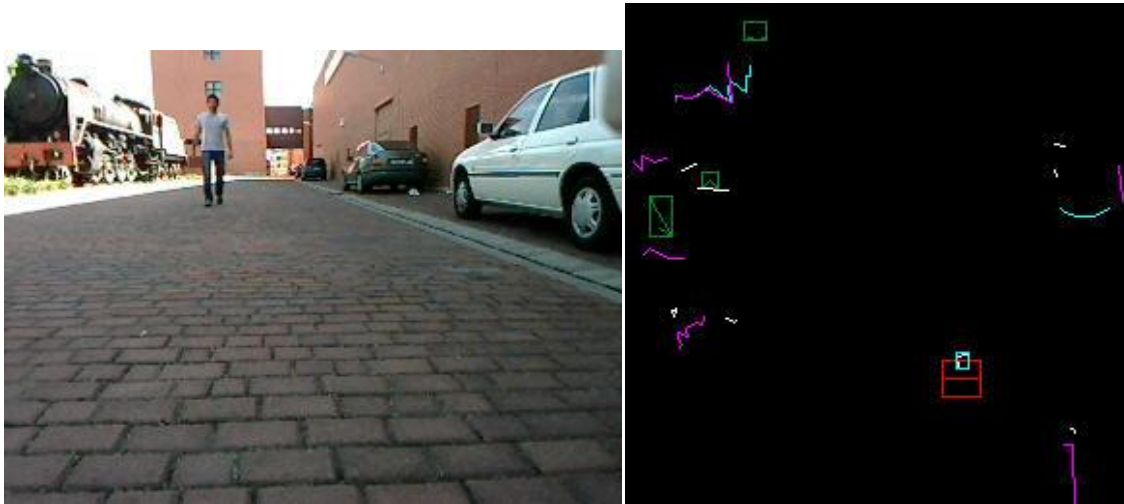


Figura 4-65. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 3.

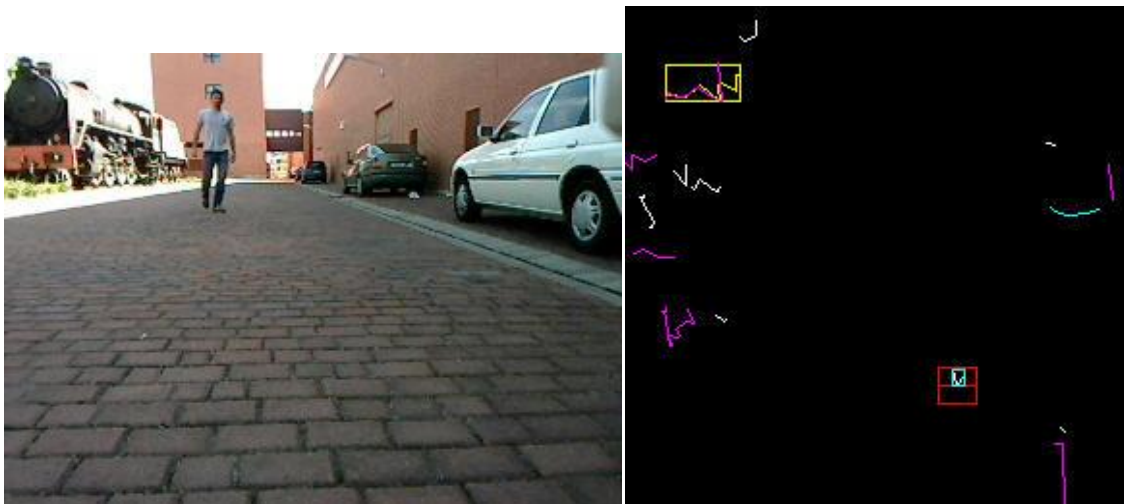


Figura 4-66. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 4.

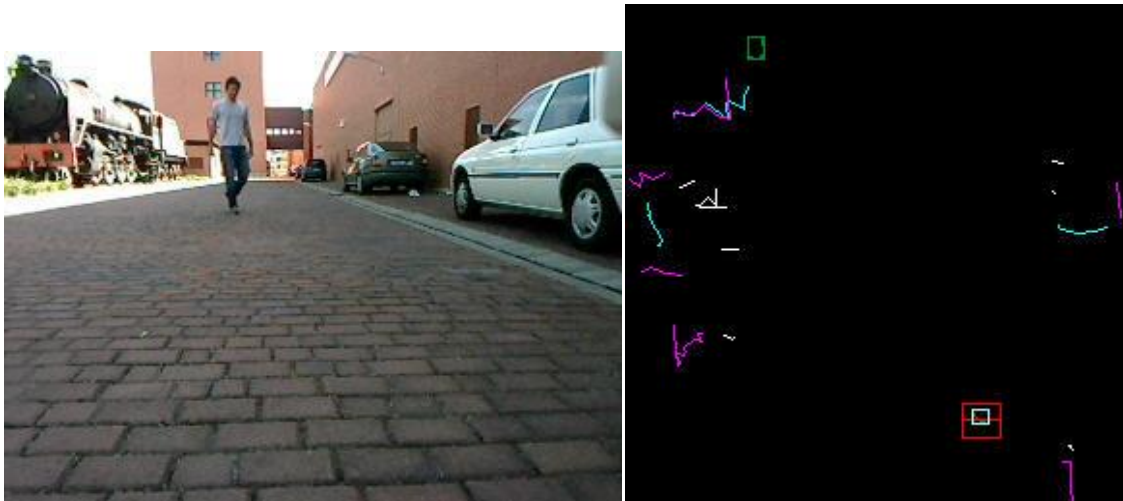


Figura 4-67. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 5.



Figura 4-68. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 6.





Figura 4-69. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 7.



Figura 4-70. Imagen del automóvil dada por la cámara de video e imagen proporcionada por el radar láser, para el frame 8.

## Capítulo 5. Resultados

### 5.1 Introducción

Para probar la aplicación se realizaron una serie de pruebas en circuito cerrado para los objetos móviles y una serie de ensayos para los peatones con multitud de movimientos diferentes en diversas situaciones, en las que se intentó probar la utilidad y fiabilidad de los algoritmos de detección y de seguimiento para los dos tipos de objetos. Esto permitió probar las diferentes fases del algoritmo de manera independiente.

En una primera fase se probó la detección del sistema sin incluir de tracking, y se comprobó el porcentaje de detecciones según la distancia del objeto. Posteriormente se añadió al sistema el seguimiento en una segunda fase de pruebas.

### 5.2 Pruebas con objetos móviles

Se realizó una batería de pruebas para probar los algoritmos de detección y de seguimiento, que incluían los siguientes movimientos:

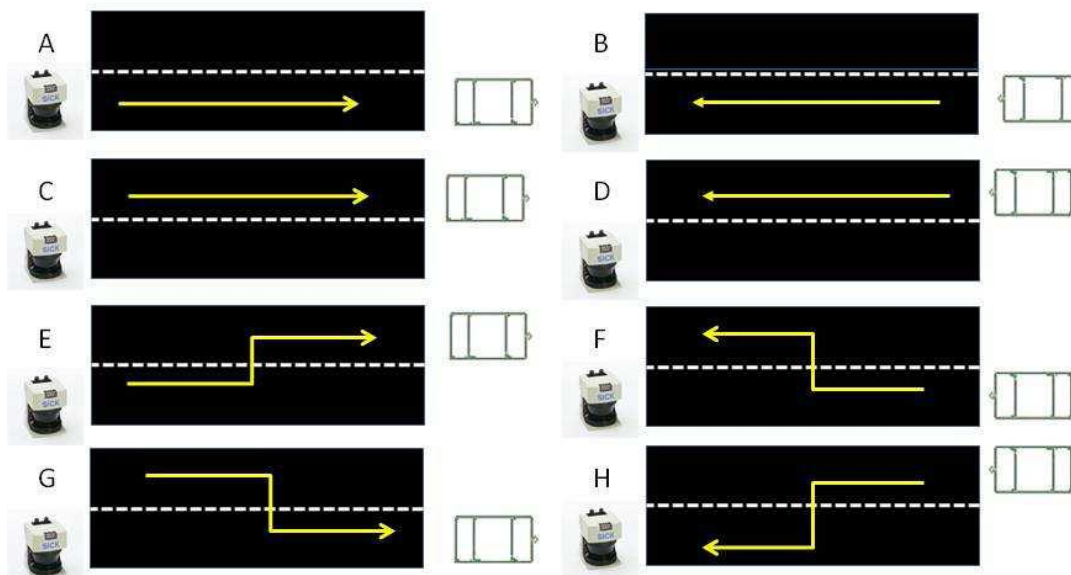


Figura 5-1. Movimientos del banco de pruebas.

- A. Movimiento en dirección contraria al láser.
- B. Movimiento en dirección al láser.
- C. Movimiento en dirección contraria al láser en diferente trayectoria.



- D. Movimiento en dirección al láser en diferente trayectoria.
- E. Movimiento de adelantamiento en línea alejándose
- F. Movimiento de adelantamiento en línea acercándose
- G. Movimiento de adelantamiento en línea alejándose (repetición)
- H. Movimiento de adelantamiento en línea acercándose (repetición)

### 5.3 Resultados de seguimiento con objetos móviles

El % de detecciones, se lleva a cabo contando el número de veces totales que aparece el objeto, entre el número de veces que es detectado como objeto de tipo móvil, de 0m a 80m, en intervalos de 10m.

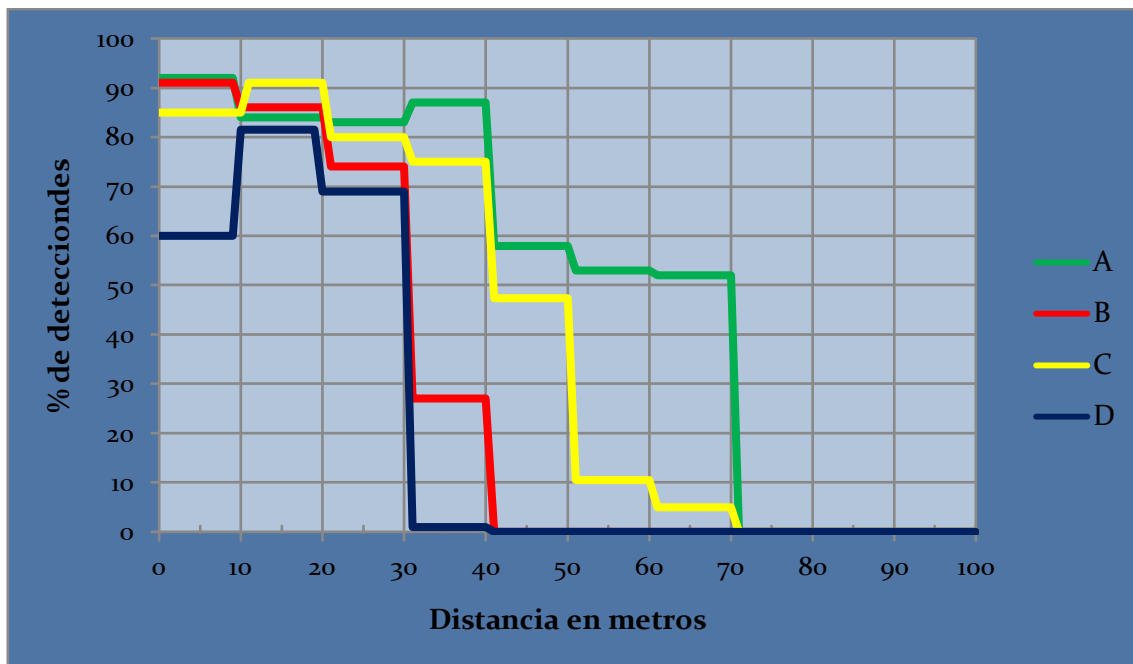


Figura 5-2. Resultados de las detecciones para los diferentes test 1.

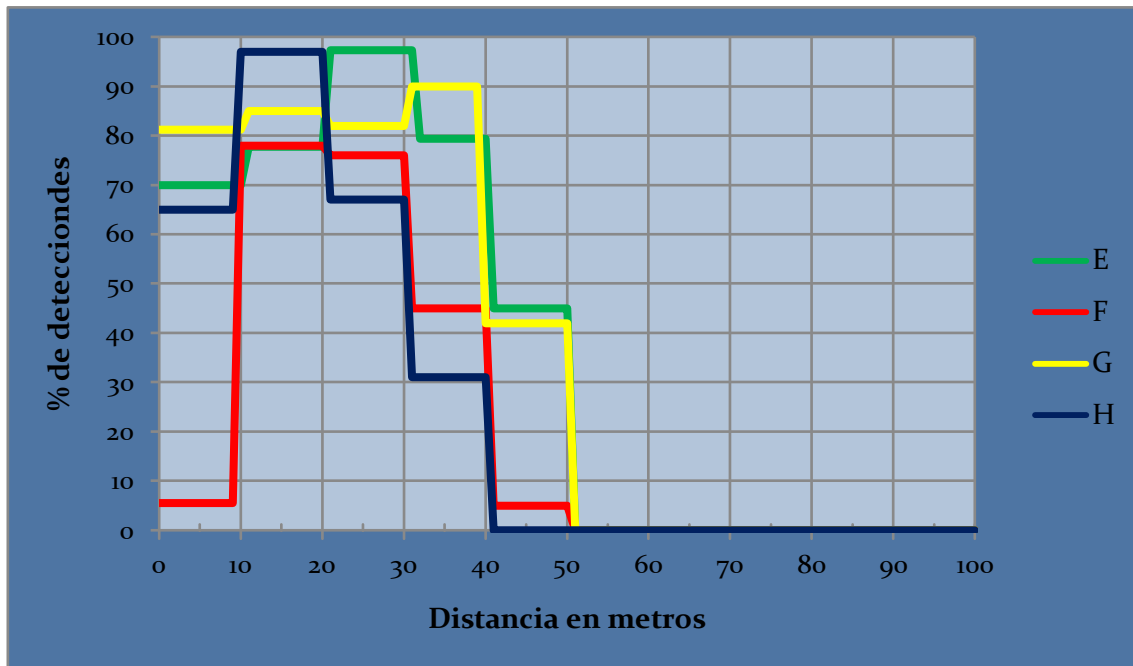


Figura 5-3. Resultados de las detecciones para los diferentes test 2.

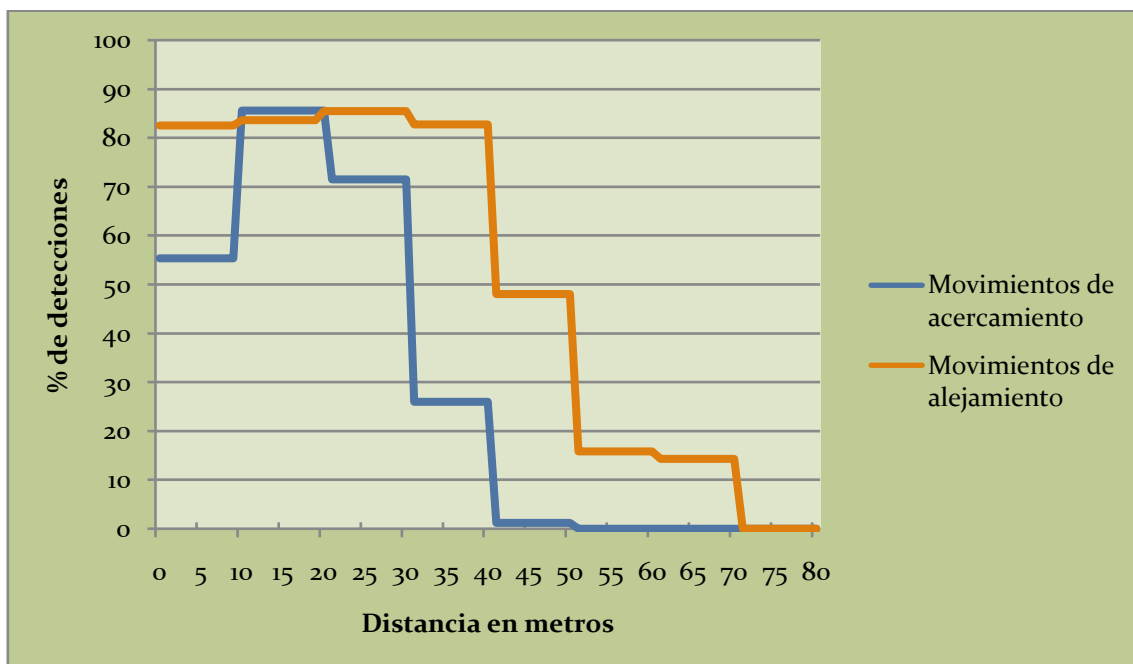


Figura 5-4. Resultados generales de detecciones para objetos móviles.

Como puede observarse en los resultados, el sistema resultó ser bastante estable y fiable tanto para movimientos de aproximación, como para movimientos de alejamiento.

A pesar de que ambos movimientos dieron unos resultados muy competitivos, los movimientos de alejamiento resultaron obtener mejores resultados. Esto es debido a que la parte trasera de los coches está mejor estructurada, con superficies que ofrecen mejores coeficientes de reflexión para el láser. La parte delantera, por el contrario, ofrece superficies irregulares que hacen la reflexión más compleja.

#### 5.4 Resultados de tracking para objetos móviles

En los resultados obtenidos al añadir el tracking se comprobó que la detección era complementada a la perfección por el tracking, por lo que una vez que se producía la detección ese obstáculo era seguido hasta los 80 metros (máxima distancia de detección) en movimientos de alejamiento, y hasta los 0 metros en movimiento de acercamiento. En los resultados se muestran la distancia máxima a la que funcionó el sistema de tracking.

El % de seguimientos se lleva a cabo contando el número de veces totales que aparece el objeto, entre el número de veces que se le está haciendo el tracking al objeto móvil, de 0m a 80m, en intervalos de 10m.

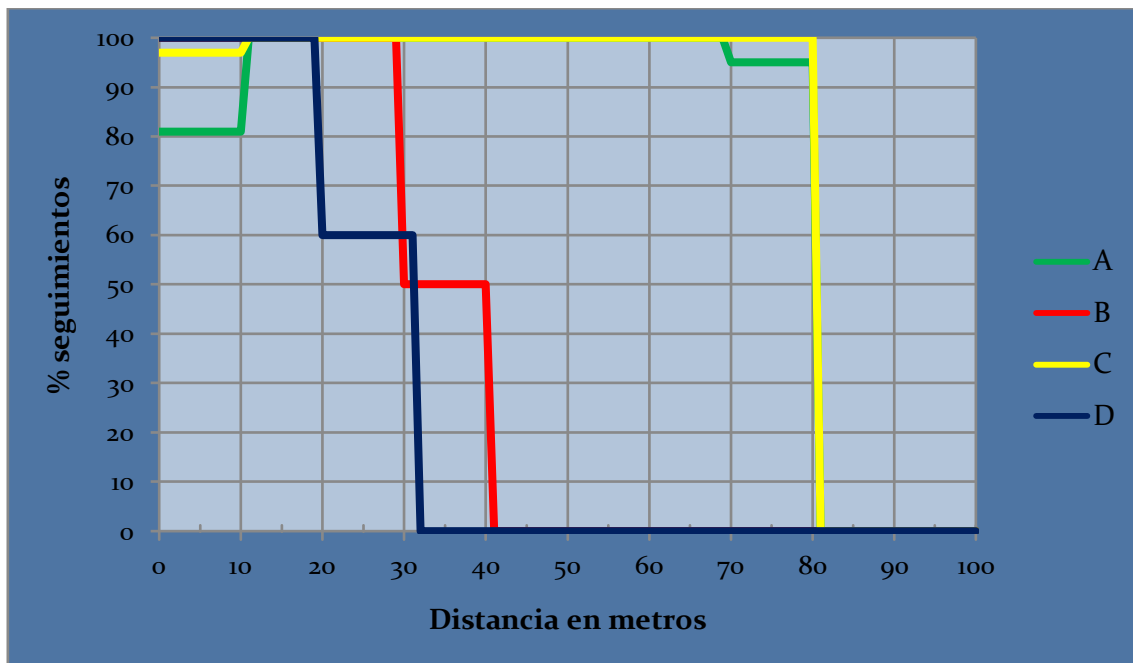


Figura 5-5. Gráfica de resultado de seguimientos para objetos móviles.

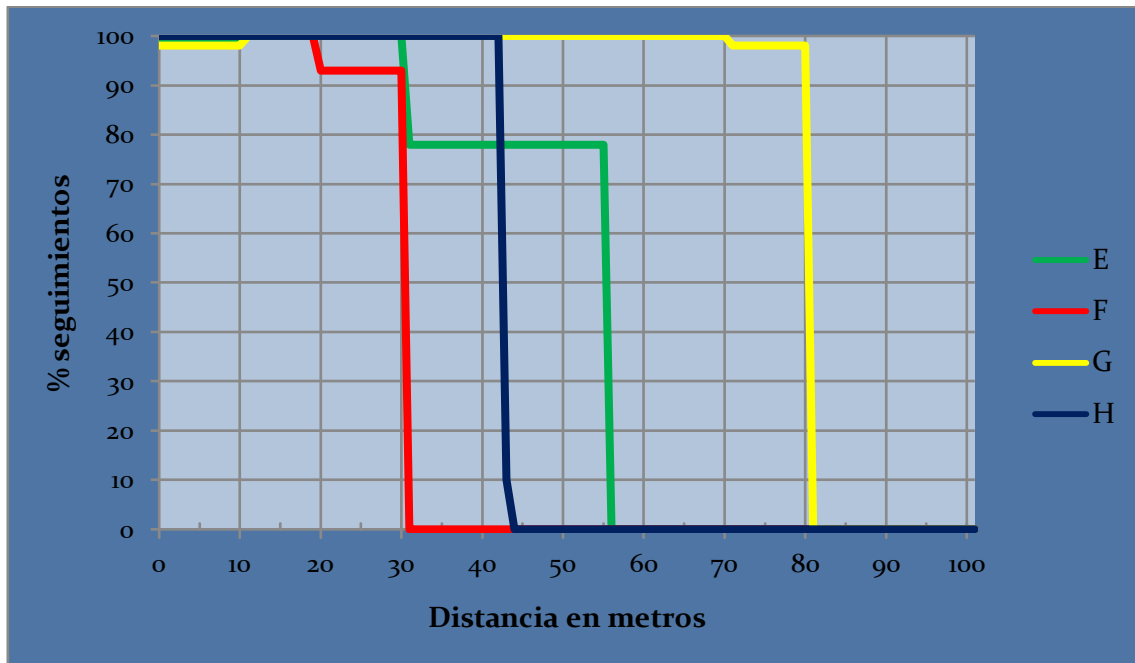


Figura 5-6. Gráfica de resultado de seguimientos para objetos móviles 2.

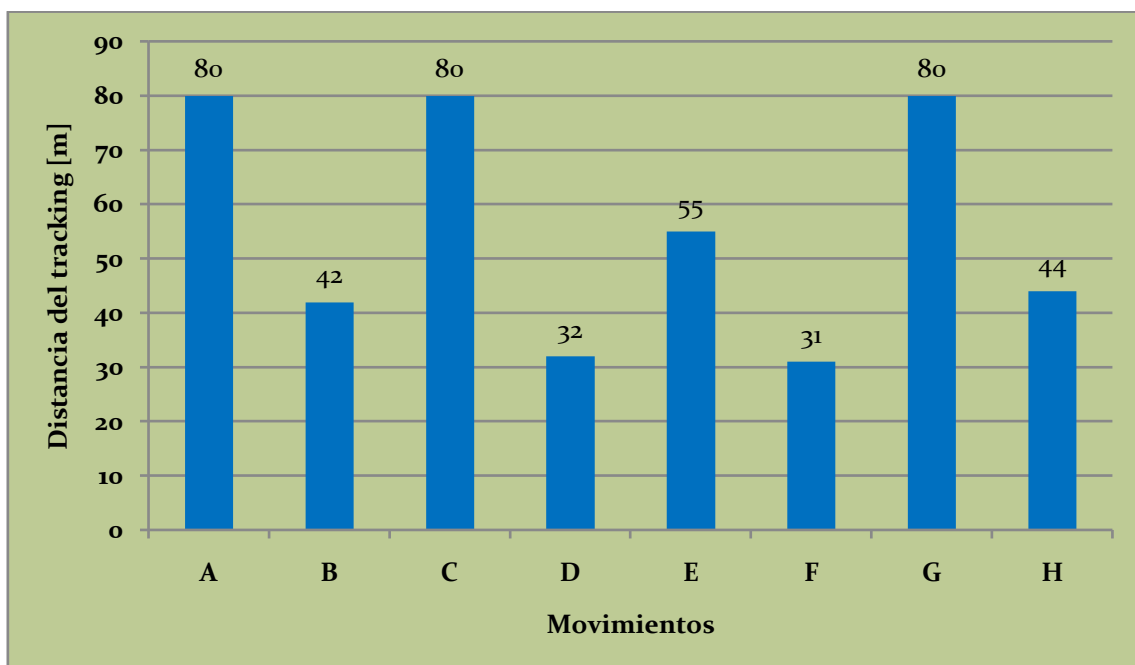


Figura 5-7. Distancias máximas de Tracking.

Se observa que las máximas distancias de tracking se obtienen para las pruebas de alejamiento, en las que el objeto móvil parte de una posición próxima al radar láser y

luego se alejan de él. Esto era de esperar ya que cuando el objeto se encuentra próximo al láser se producen un alto índice de detecciones, lo que sirve para empezar el seguimiento y continuarlo hasta más allá de los 40 metros donde el objeto, empieza a no ser identificado como objeto móvil. Esto se produce a excepción del caso E, en este se llega a una menor distancia, ya que el objeto móvil efectúa un movimiento de adelantamiento, por lo que solo se recibe la sección lateral del automóvil y un poco de la trasera, obteniendo una forma no reconocida para el nivel bajo y no detectando el objeto como objeto móvil. Si bien, también comentar que todas ellas tienen altos índices de seguimiento hasta el momento en que finaliza el mismo.

Para los movimientos de acercamiento, la máxima distancia a la que se empieza a hacer el seguimiento es de 44 metros. Esto se debe a que las detecciones se empiezan a producir a distancias menores de 55 metros, a mayores distancias es difícil detectar un objeto móvil acercándose al radar. Todas las pruebas de acercamiento consiguen altos índices de seguimiento una vez iniciado el tracking.

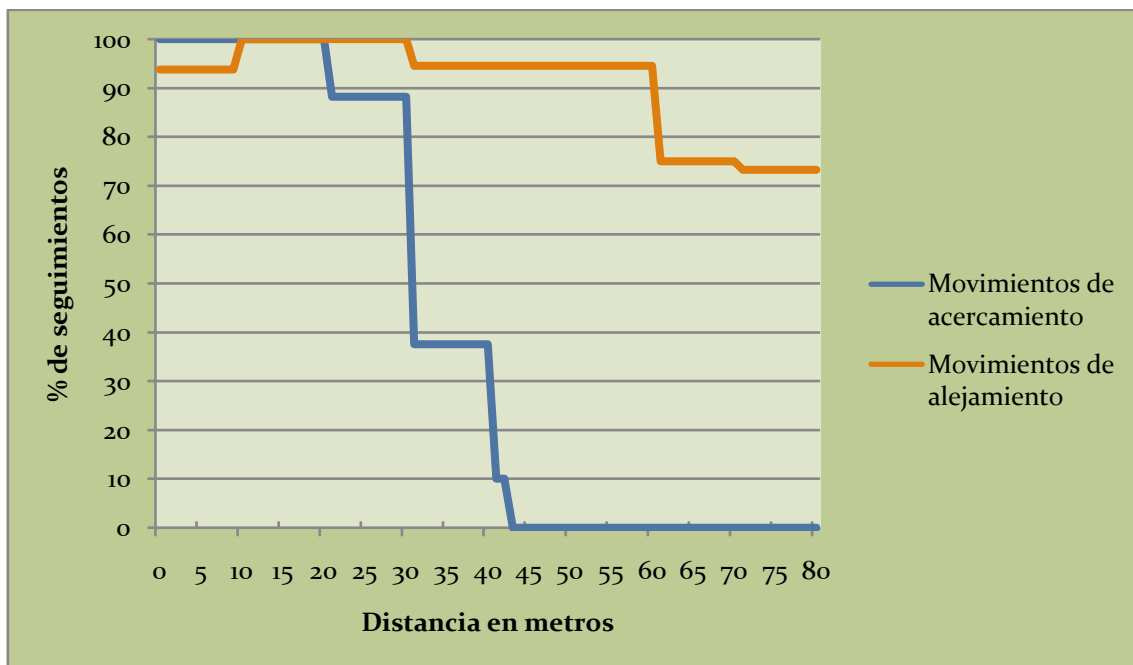


Figura 5-8. Resultados generales de seguimiento para objetos móviles

## 5.5 Pruebas con peatones

Al igual que el caso de objetos móviles se realizó una serie de pruebas para probar los algoritmos de detección y de seguimiento, con los siguientes movimientos:

## Movimientos que se han analizado

- A. Peatón saliendo desde posición del láser, y caminando dirección alejándose del láser hasta 80 metros.
- B. Peatón caminando acercándose al láser, desde 80 metros hasta la posición donde se encuentra el láser.
- C. Peatón caminando perpendicularmente de izquierda a derecha.
- D. Peatón caminando perpendicularmente de derecha a izquierda.
- E. Peatón con dirección hacia el láser realizando un movimiento en zigzag.
- F. Peatón con dirección alejándose del láser realizando un movimiento en zigzag.
- G. Peatón corriendo en dirección hacia el láser.
- H. Peatón corriendo, en dirección alejándose del láser.
- I. Peatón con piernas cubiertas con bata negra, y realizando movimientos de subida y bajada.
- J. Peatón con piernas cubiertas con bata blanca, y realizando movimientos de subida y bajada.
- K. Grupo de peatones, realizando movimientos, de subida, bajada, y perpendiculares al láser.

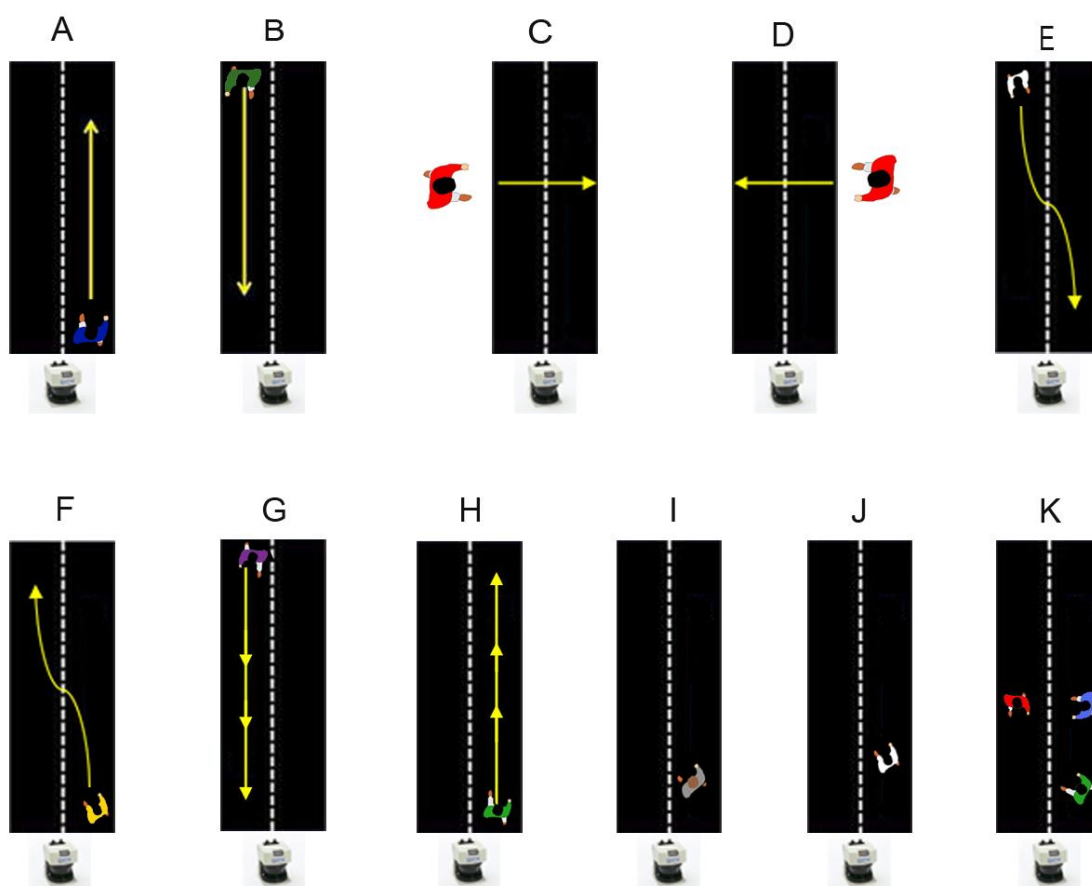


Figura 5-9. Movimientos del banco de pruebas para peatones.

## 5.6 Resultados de detección con peatones

El % de detecciones se lleva a cabo contando el número de veces totales que aparece el objeto, entre el número de veces que es detectado como objeto de tipo peatón, de 0m a 80m, en intervalos de 10m.

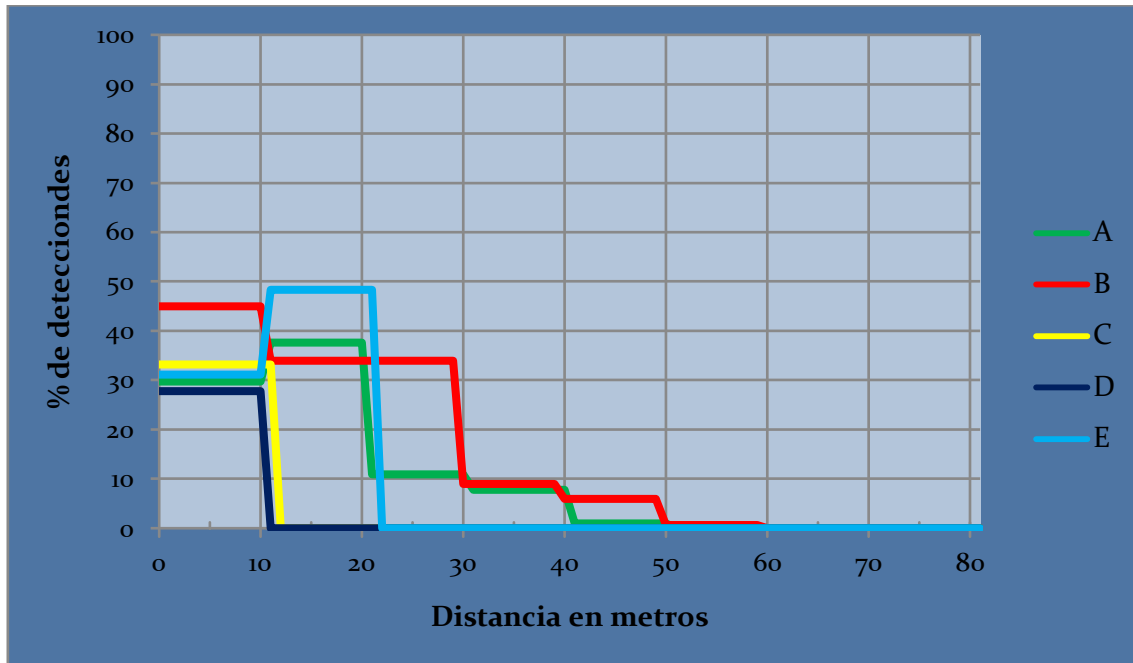


Figura 5-10. Gráfica de resultado de detecciones para peatones 1.

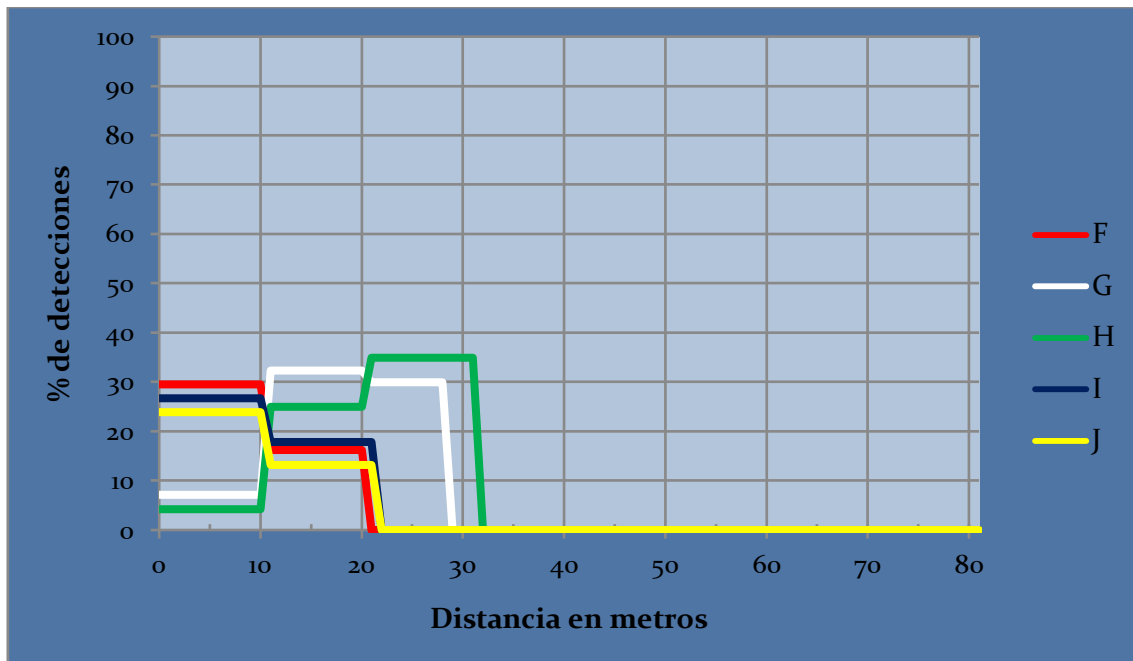


Figura 5-11. Gráfica de resultados de detecciones para peatones 2.

A partir de 50 metros es muy difícil detectar al peatón, ya que es imperceptible para el radar y no conseguimos encontrar las formas definidas para obtener el patrón correspondiente al objeto de tipo peatón, como ya se puede apreciar en las graficas, en las que más allá de los 50 metros, las detecciones son nulas.

Apreciamos que las detecciones son mayores cuando el peatón lleva dirección acercándose al láser. Como en el caso A, (peatón alejándose del láser), el cual obtiene un menor resultado en los intervalos que en el caso B, (peatón acercándose al láser) y en el caso E (peatón en zigzag acercándose), con mejor resultado que su homologó F, en sentido opuesto.

Con respecto a las pruebas realizadas con peatones donde las extremidades inferiores, cubiertas con una tela de color blanco y otra negra, se llega a la conclusión de que se detecta de manera similar al peatón con este elemento, y que su color poco influye en la localización del mismo, ya que se han tenido mejores índices de detección con el color negro que con el blanco, siendo este último en teoría mejor, por tener mayor reflexividad de la luz emitida por el radar láser. Por tanto tiene una mayor importancia, la posición del cuerpo del peatón con respecto al láser.

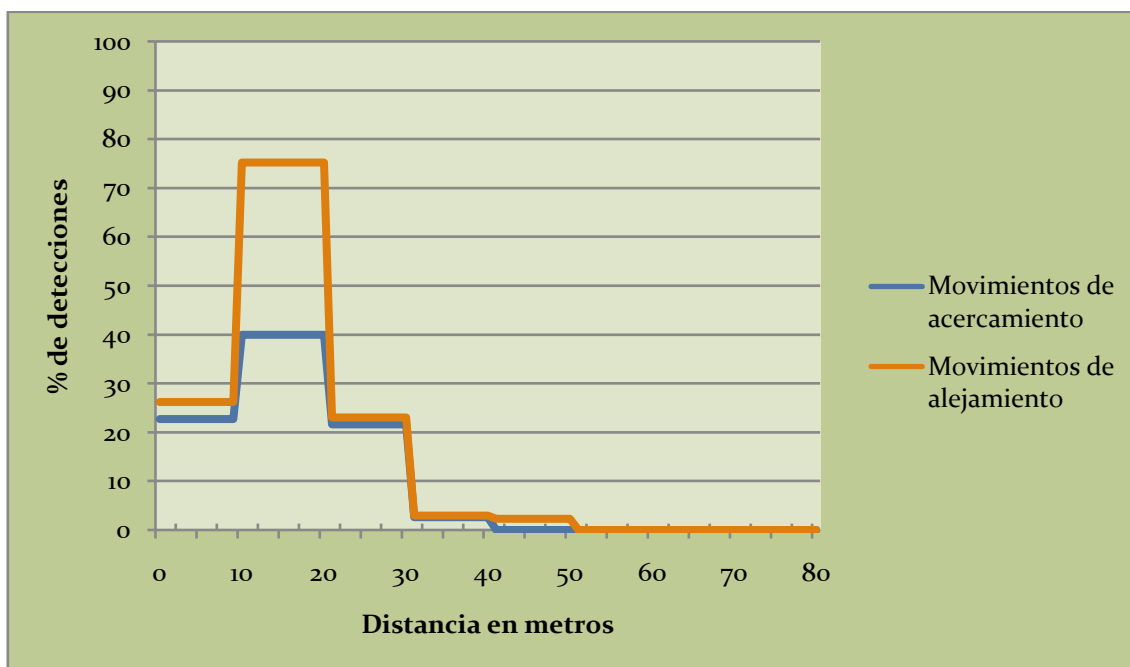


Figura 5-12. Resultados generales de detecciones para peatones.



## 5.7 Resultados de tracking con peatones

El % de seguimientos se lleva a cabo contando el número de veces totales que aparece el objeto, entre el número de veces que se le está haciendo el tracking, de 0m a 80m, en intervalos de 10m.

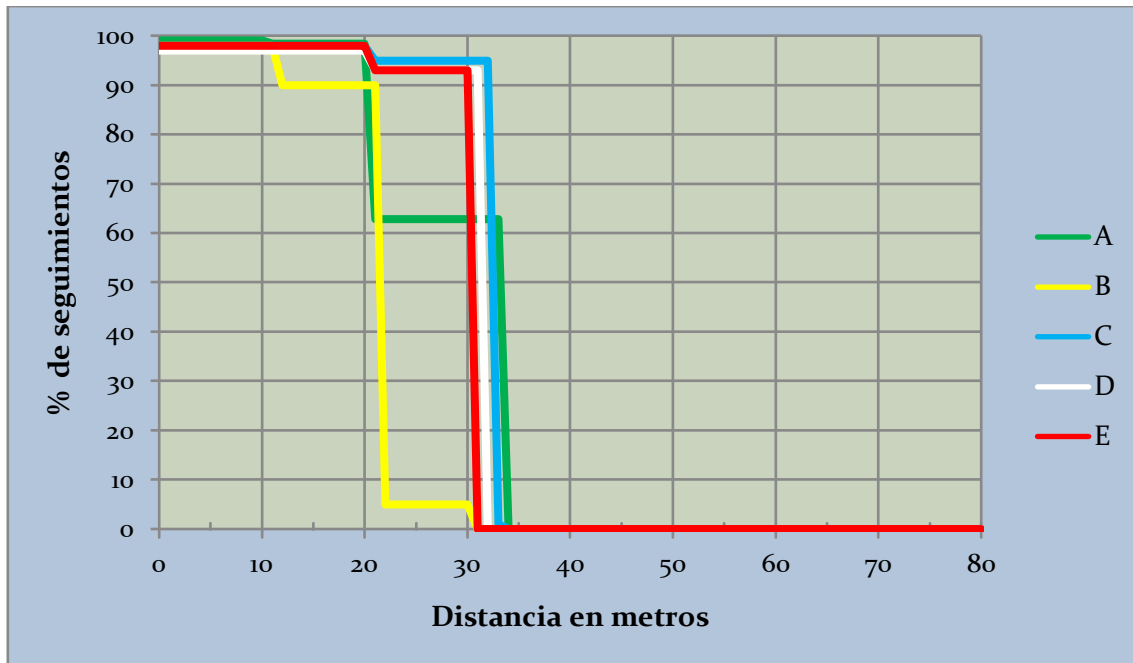


Figura 5-13. Gráfica de resultado de seguimientos para peatones.

Si se pierde el seguimiento del objeto a partir de una distancia aproximada de 35 metros por falta de visión con el peatón, estimación incorrecta o cualquier circunstancia por la que se pueda perder el tracking del objeto cuando este tiene dirección alejándose del láser, es muy difícil recuperar el mismo ya que a esa distancia el objeto no se detecta como tipo peatón y no se puede volver a iniciar el seguimiento.

Podemos obtener varias conclusiones a partir de los resultados del tracking: se obtiene una mayor distancia de seguimiento e índices cuando el peatón parte de una posición próxima al láser y se desplaza alejándose del mismo, que cuando el mismo se acerca al radar desde una posición lejana a él. Esto era de esperar, ya que cuando el peatón se encuentra a una distancia mayor de 40 metros, los índices de detección son prácticamente nulos, por lo que cuanto más se vaya acercando al escáner más posibilidades tendremos de empezar un seguimiento.

Los demás casos no difieren mucho en sus valores, siguiendo una línea de índices altos para distancias menores de 30 metros.

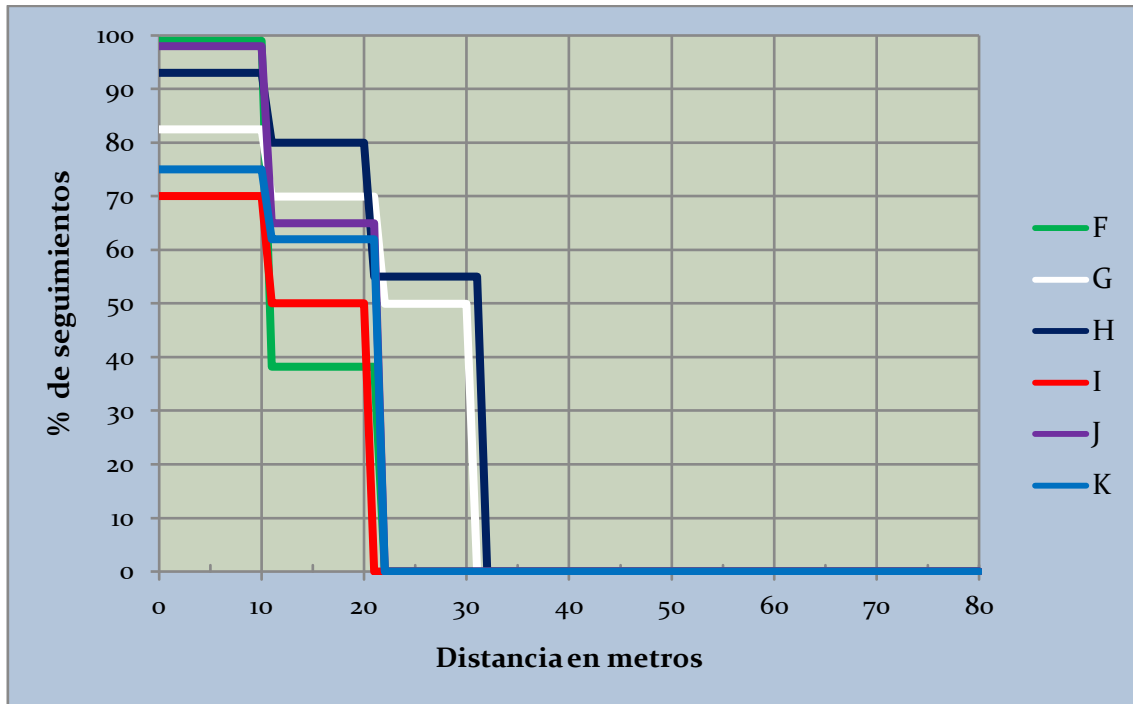


Figura 5-14. Gráfica de resultado de seguimientos para peatones 2.

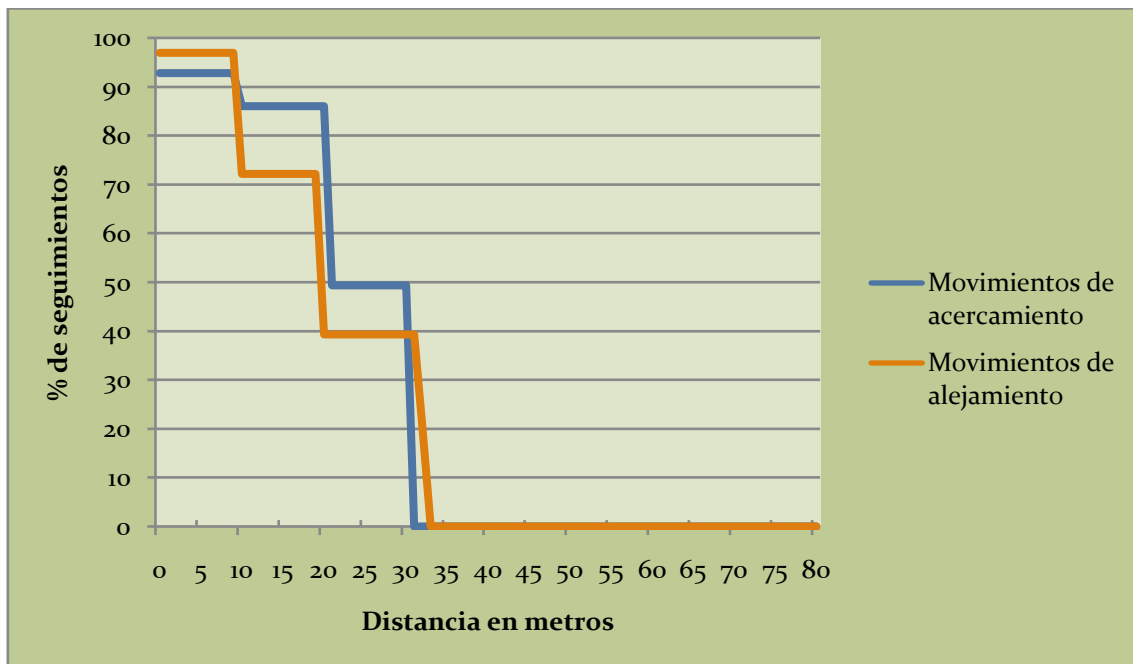


Figura 5-15. Resultados generales de seguimiento para peatones.



Observamos un alto índice de seguimientos en movimientos de zigzag tanto en sentido ascendente como en descendente, donde se pone a prueba el tracking en los dos ejes.

Se obtiene un mayor porcentaje de seguimientos para el peatón con bata blanca que con bata negra, pero no relacionado con el color ya que anteriormente, el peatón con bata negra tenía un mayor número de detecciones, con lo que se llega a la conclusión que esa diferencia se debe a los diferentes movimientos entre los dos peatones con distintos colores.

Con el grupo de peatones también se consigue un buen índice. Esto pone a prueba el sistema de seguimiento aunque el objetivo desaparezca, ya que en multitud de ocasiones los peatones se cruzan entre si, tapando la visión del que este más alejado con respecto al radar en ese momento, y continuando el tracking cuando la visión sea posible.



## Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros

### 6.1 Conclusiones

Se ha presentado y demostrado que es posible realizar un sistema de detección y clasificación vía radar láser. El cual ha demostrado ser altamente fiable, reuniendo los dos subsistemas de detección y seguimiento.

Se ha probado que a partir de la información dada por el láser, se puede realizar un seguimiento a automóviles y peatones de forma fiable, evitando los falsos positivos típicos de las vías urbanas, aunque estos desaparezcan momentáneamente de la visión del radar. Esto se demuestra en las numerosas pruebas realizadas con un resultado satisfactorio.

Que el sistema puede hacer el seguimiento a un peatón corriendo, con cambios de velocidad y dirección rápidos e incluso con el cubrimiento de las piernas hasta los tobillos mediante una tela.

Se ha comprobado la gran efectividad de los radares láser, para su uso en el reconocimiento del entorno y aplicaciones similares.

### 6.2 Trabajos Futuros

Los posibles trabajos futuros serian:

Probar el sistema en entornos donde las condiciones climatológicas sean adversas y lo más extremas posibles, niebla, lluvia, nieve u otras situaciones que se pueden presentar en los entornos viarios como humo y polvo denso. En conclusión, circunstancias donde la visión sea mínima para comprobar en que casos puede ser fiable y ser de una gran ayuda al conductor.

Experimentar con el sistema incorporado en un vehículo móvil y circulando por un vía abierta o cerrada a la circulación, en las que encontremos todo tipo de situaciones (cambios de rasante, vías con firme irregular o con badenes), con un trafico real o en su defecto lo más parecido posible. Con correcciones de la posición y de la velocidad mediante GPS u otra tecnología y un sistema de inerciales para evitar datos incorrectos cuando el automóvil atravesase terrenos irregulares y se produzca una oscilación vertical del radar láser.

Incorporación de un sistema de visión monocular o binocular, para tener otra fuente diferente de datos con la que poder comparar en casos de duda y comprobar si así evitaríamos falsos positivos, tanto del sistema láser como del de visión, o simplemente si podemos suplir las carencias del sistema láser en algunas situaciones.

Introducir en las pruebas de detección y seguimiento vehículos de dos ruedas, tales como motocicletas, bicicletas, que también tienen una alta siniestralidad en parte por la poca visibilidad debido a su pequeño tamaño; un sistema que ayudara a conocer su posición sería de una gran utilidad para evitar accidentes.

## Capítulo 7. Presupuesto

### 7.1 Coste de material

En esta sección se incluye el coste de materiales utilizados para la construcción de la estructura de la cámara.

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Total
Radar Láser	3500	1	3500€
Microsoft Visual Studio 2008	259€	1	259€
Portátil Asus Z53FSeries	600 €	1	600 €
Cámara Web Logitech QuickCam Ultra Vision	35€	1	35€
Conversor serie-usb	60€	1	60€
TOTAL			4.454 €

### 7.2 Costes de personal

En esta sección se incluye el coste del personal involucrado en el desarrollo del proyecto durante el tiempo de desarrollo del mismo.

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Total
Ingeniero técnico de Telecomunicaciones	2000 €/Mes*	10 meses	20.000 €
TOTAL			20.000 €

\* Fuente COITT

### 7.3 Presupuesto total

El importe total de desarrollo asciende a una cantidad de:

Concepto	Total
Costes de material	4.454 €
Costes de personal	20.000 €
<b>Presupuesto total</b>	<b>24.454 €</b>



## Bibliografía

- [1]. U. Hofmann, A. Rieder, and E.D. Dickmanns, "Radar and vision data fusion for hybrid adaptive cruise control on highways", in Proc. Int. Conf. Comput. Vis. Syst., Vancouver, BC Canada, 2001, pp. 125-138.
- [2]. A. Sole, O. Mano, G. Stain, H. Kumon, Y. Tamatsu, and A. Shashua, "Solid or not solid: Vision for radar target validation," in Proc. IEEE Intell. Vehicles Sym. Parma Italy, Jun 2004, pp. 819-824.
- [3]. Ofer, A.S., Mano, O., Stein, G.P., Kumon, H., Tamatsu, Y., Shashua, A.: Solid or not solid: Vision for radar target validation. In: IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 819-824, 2004.
- [4]. C. Fuerstenberg and U. Lages, "New european approach for intersection safety the ec-project intersafe," Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2005, Las Vegas, USA, 2005.
- [5]. N. Kaempchen, M. Buehler, and K. Dietmayer, "Feature-level fusion for free-form object tracking using laserscanner and video," Proceedings of 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Las Vegas, USA, 2005.
- [6]. S. Wender, T. Weiss, K. Fuerstenberg, and K. Dietmayer, "feature level fusion for object classification", in PREVENT ProFusion e-Journal, Vol. 1, 2006.
- [7]. C. Hilario, J. M. Collado, J. M<sup>a</sup> Armingol, A. de la Escalera. "Multi-resolution Image Analysis for Vehicle Detection". Lecture Notes in Computer Science, Vol: 3522 pp: 579-586 2005.
- [8]. C. Hilario, J.M. Collado, J. M<sup>a</sup> Armingol, A. de la Escalera. "Pedestrian Detection for Intelligent Vehicles based on Active Contour Models and Stereo Vision". Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3643, pp. 537-542 (2005).
- [9]. J.P. Carrasco, A. De la Escalera, J.M. Armingol . "Speed Supervisor for Intelligent Vehicles". 11th International Workshop on Computer Aided Systems Theory, pp: 399-402. Las Palmas de Gran Canaria, Spain, February 12-16, 2007.
- [10]. Daniel Olmeda, Cristina Hilario, Arturo de la Escalera, Jose M. Armingol: "Pedestrian Detection and Tracking Based on Far Infrared Visual Information " .. ACIVS 2008: 958-969.
- [11]. B. Seux, C. Lurgeau, L. Salesse, and D.Wauiter, "Fade: A vehicle detection and tracking system featuring monocular color vision and radar

- data fusion" in Proc. IEEE Intell. Vehicles Symp., Versailles, France, Jun 2002. Pp 632-639.
- [12]. Elima Seral Port Monitor. [www.elima.com/products/serial-port-monitor/](http://www.elima.com/products/serial-port-monitor/)
- [13]. García, F., Cerri, P., Broggi, A., Armingol, J.M., de la Escalera, A.: Vehicle Detection Based on Laser Radar. Eurocast 2009.
- [14]. Ildar Urazghildiiev, Rolf Ragnarsson, Pierre Ridderström, Anders Rydberg, Eric Öjefors, Kjell Wallin, Per Enochsson, Magnus Ericson, and Göran Löfqvist. "Vehicle Classification Based on the Radar Measurement of Height Profiles". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 8, No. 2, June 2007.
- [15]. Alessandretti, G., Broggi, A., Cerri, P.: Vehicle and guard rail detection using radar and vision data fusion. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on 8(1), 95-105, March 2007.